

**“Diseño de un modelo de reabastecimiento multi-ítem basada en colaboración, como estrategia para reducir costos de importación de cargas de comercio exterior”**

**ING CARLOS JOSE OTERO PALENCIA**

**UNIVERSIDAD DEL NORTE  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BARRANQUILLA  
2017**

**“Diseño de un modelo de reabastecimiento multi-ítem basada en colaboración, como estrategia para reducir costos de importación de cargas de comercio exterior”**

**ING CARLOS JOSE OTERO PALENCIA**

**Tesis de Grado para optar el título de Magister en Ingeniería Industrial**

**Ing. René Amaya Mier, Ph.D**  
**Director**

**UNIVERSIDAD DEL NORTE**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍAS**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**BARRANQUILLA**  
**2017**

Aprobado por el Departamento de Ingeniería Industrial y la División de Postgrados en Ingeniería, en cumplimiento de los requisitos exigidos para otorgar el título de Magíster en Ingeniería Industrial.

---

Ing. René A. Amaya Mier, Ph.D.  
*Tutor*

---

*Jurado*

---

*Jurado*

*Barranquilla, Enero 2017*

## DEDICATORIA

---

*A ti, que aunque no puedes leer estas líneas, pero que sin duda alguna, serías el más orgulloso de este logro en mi vida... cuanto temple, valentía y perseverancia me inspiraste... así como tú en la eternidad, eterno es mi amor por ti; para ti mi viejo...*  
José Ángel Otero Díaz

## AGRADECIMIENTOS

---

*¡Gracias Señor! porque así como iluminaste el inicio del camino, me guiaste hasta el final, tus promesas son la única certeza del hombre.*

Agradezco a mis padres por el apoyo recibido durante mis estudios de maestría, y especialmente agradezco a mi abuela Hilda, por sus oraciones diarias y su infinito cariño.

A mi tutor y mentor René Amaya, quien en definitiva es un ejemplo de profesionalismo, mi oportuno consejero y quien me ha enseñado el arte de la investigación.

A los ingenieros Ángel González y Alcides Santander, quienes confiaron en mis capacidades, y me sugirieron iniciar mis estudios de maestría, siempre dispuestos a escucharme y guiarme

A Naty, quien más que nadie conoce mi sacrificio y entereza en este paso, gracias por tu valioso e incondicional apoyo.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	X
1 CAPITULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.1.1 PANORAMA DE LA COMPETITIVIDAD LOGÍSTICA COLOMBIANA .....	1
1.1.2 PANORAMA DE LA COMPETITIVIDAD LOGÍSTICA DE LA REGIÓN CARIBE COLOMBIANA .....	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	6
1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
1.4 CONTRIBUCIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	8
1.5 OBJETIVOS .....	9
1.5.1 OBJETIVO GENERAL .....	9
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
1.6 RESULTADOS ESPERADOS .....	10
1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	10
1.8 FUENTES DE INFORMACIÓN .....	13
1.9 ALCANCE .....	13
2 CAPÍTULO 2. REVISIÓN LITERARIA .....	15
2.1 ASPECTOS PRELIMINARES DEL COMERCIO INTERNACIONAL .....	15
2.2 GENERALIDADES DEL MODELO SCOR .....	17
2.2.1 DEFINICIONES OPERACIONALES DE LOS COSTOS .....	19
2.3 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE .....	24
2.3.1 TEORÍA DE JUEGOS COOPERATIVOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO .....	24
2.3.1.1 EL VALOR DE SHAPLEY .....	25
2.3.2 THE JOINT REPLENISHMENT PROBLEM (JRP) .....	27
2.3.2.1 EL JRP CLÁSICO .....	28
2.3.2.2 PROCEDIMIENTOS DE SOLUCIÓN AL JRP PROPUESTOS EN LA LITERATURA .....	30
2.3.2.3 VARIACIONES DEL MODELO ORIGINAL JRP .....	31
2.3.2.4 OPORTUNIDADES Y DESARROLLOS FUTUROS EN LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL JRP .....	32
3 CAPÍTULO 3. MODELACIÓN Y DESARROLLO DEL PROBLEMA .....	33
3.1 ESTADO ACTUAL DE LOS PROCESOS DE COMERCIO EXTERIOR EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO .....	33
3.2 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COSTOS DEL MODELO .....	39
3.2.1 COSTOS DE PEDIR .....	40
3.2.1.1 COSTEO DE LOS PROCESOS DE PLANEACIÓN .....	42
3.2.1.2 COSTEO DEL PROCESO DE ABASTECER (SOURCE) .....	44

3.2.2	<i>COSTOS DE MANTENER</i> .....	47
3.2.2.1	COSTO DE CAPITAL .....	47
3.2.2.2	COSTO DE OBSOLESCENCIA O DETERIORO .....	48
3.2.2.3	COSTO DEL RIESGO .....	48
3.2.2.4	COSTO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS Y VARIOS .....	49
3.2.2.5	COSTO DE OCUPACIÓN .....	49
3.2.2.6	FRACCIÓN “h” .....	49
3.2.3	<i>ANOTACIONES SOBRE LA VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE COSTOS DISEÑADA</i> .....	50
3.3	DISEÑO DEL MODELO MATEMÁTICO DEL CJRP .....	50
3.4	ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN AL CJRP .....	56
3.4.1	<i>ESTRUCTURA DEL PROCEDIMIENTO DE SOLUCIÓN</i> .....	56
3.4.1.1	POBLACIONES INICIALES Y REPRESENTACIÓN DEL CROMOSOMA .....	58
3.4.1.2	EVALUACIÓN DEL OBJETIVO POR LA FUNCIÓN FITNESS .....	59
3.4.1.3	GENERACIÓN DE NUEVAS POBLACIONES: CRUZAMIENTO Y MUTACIÓN .....	60
3.4.1.4	CALIBRACIÓN DE LA METAHEURÍSTICA .....	61
3.5	TÉCNICA DE ASIGNACIÓN DE COSTOS: APLICACIÓN DEL VALOR DE SHAPLEY .....	63
3.5.1	<i>INTEGRACIÓN DEL JRP CON EL VALOR DE SHAPLEY</i> .....	64
4	CAPÍTULO 4: RESULTADOS DEL MODELO .....	67
4.1	EXPERIMENTACIÓN COMPUTACIONAL .....	67
4.1.1	<i>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</i> .....	70
4.2	CASO DE ESTUDIO .....	72
4.2.1	<i>GENERALIDADES DE LAS EMPRESAS PARTICIPANTES</i> .....	73
4.2.2	<i>ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COSTO</i> .....	76
4.2.2.1	COSTOS DE PEDIR AGREGADO ( $S, N = 1$ ) .....	76
4.2.2.2	COSTO DE PEDIR MAYOR O COSTO COMPARTIDO ( $S, N > 1$ ) .....	77
4.2.2.3	COSTO DE PEDIR MENOR O COSTO INDEPENDIENTE (si $N > 1$ ) .....	79
4.2.2.4	COSTO DE MANTENER ( $h_i, \forall N$ ) .....	79
4.2.2.5	COSTO DE TRANSPORTE ( $t, \forall N$ ) .....	80
4.2.3	<i>ESCENARIOS DE EVALUACIÓN</i> .....	81
4.2.4	<i>ANÁLISIS DE LAS POLÍTICAS RESULTANTES</i> .....	85
4.3	CONCLUSIONES FINALES .....	87
	BIBLIOGRAFÍA .....	91

## Tabla de Figuras

<i>Figura 1: Gráfico radial de los resultados del LPI 2016 .....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2: Esquema general de funcionamiento modelo CJRP. Modelo de reabastecimiento conjunto de inventarios.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3: Resumen del diseño metodológico del proyecto.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4 Alcance de Procesos provisto en SCOR .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5: Métricas de SCOR Nivel 1.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6: Descripción de un proceso típico de legalización de carga en Importación en el Departamento del Atlántico.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7: Procedimiento heurístico de solución propuesto al CJRP.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 8: Ejemplo: Mutación (a), cruzamiento (b) .....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 9: Porcentaje de individuos Elite en la población, versus el número de generaciones para 20 y 50 ítems.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 10: Probabilidad de cruzamiento versus el número de generaciones para 20 y 50 ítems .....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 11: Esquema de integración JRP-Valor de Shapley propuesto .....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 12: Comparación de los ahorros promedio obtenidos mediante el valor de Shapley y la Asignación lineal, para las distribuciones 10,10,15,15 y 5,5,20,20, para 50 familias de productos.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 13: Comparación de los ahorros promedio obtenidos mediante el valor de Shapley y la Asignación lineal, para las distribuciones 2,2,3,3 y 1,1,4,4, para 10 familias de productos .....</i>	<i>72</i>

## Índice de tablas

Tabla 1: Costos relacionados con las operaciones de comercio exterior propuestos por SCOR ® 9.0. ....	23
Tabla 2: Resumen de la descomposición del costo de importación (USD). ....	36
Tabla 3: Resumen de la descomposición del costo de exportación. ....	37
Tabla 4: Niveles de clasificación para el Costo (USD) y tiempo (días) de Importación para la industria textil, autopartes, maquinaria pesada y construcción. ....	38
Tabla 5: Costos contables resultantes relacionados con el proceso de importación, adaptados del ProColombia 2015 y el modelo SCOR 9.0. ....	41
Tabla 6: Estructura de estimación de costos de pedir propuesta. ....	42
Tabla 7: Estructura de estimación de costos de mantener propuesta. ....	47
Tabla 8: Costos compartidos o mayores de pedir. ....	53
Tabla 9: Costos menores o independientes de pedir. ....	53
Tabla 10: Resumen de los costos de transporte. ....	54
Tabla 11: Resumen de los elementos del costo de mantener o holding cost. ....	54
Tabla 12: Resultados del proceso de calibración de los parámetros. ....	63
Tabla 13: Valores asignados a los parámetros de entrada del modelo empleados en las pruebas. ....	68
Tabla 14: Resumen de la encuesta aplicada para validar el número de jugadores. ....	68
Tabla 15: Resultados del proceso de experimentación. ....	69
Tabla 16: Resumen de la información preliminar de interés de la Empresa 1. ....	73
Tabla 17: Resumen de la información preliminar de interés de la Empresa 2. ....	74
Tabla 18: Resumen de la información preliminar de interés de la Empresa 3. ....	75
Tabla 19: Resumen de la información preliminar de interés de la Empresa 4. ....	76
Tabla 20: Resumen de los costos de pedir anualizados para el caso de estudio. ....	77
Tabla 21: Resumen de los costos de pedir mayores o compartidos para las cuatro empresas (USD). ....	78
Tabla 22: Resumen de los costos de pedir menores para cada empresa. ....	79
Tabla 23: Resumen de los costos de mantener inventarios anualizados para el caso de estudio. ....	80
Tabla 24: Resumen del costo de transporte estimado. ....	81
Tabla 25: Parámetros para el Escenario 1. ....	82
Tabla 26: Parámetros para el Escenario 2. ....	82
Tabla 27: Parámetros para el Escenario 3. ....	83
Tabla 28: Parámetros para el Escenario 4. ....	84
Tabla 29: Parámetros para el Escenario 5. ....	84
Tabla 30: Tamaños de lote y frecuencia de envío para los 5 escenarios evaluados. ....	85
Tabla 31: Ahorros y asignaciones de costos encontrados para los 5 escenarios (USD). ....	86
Tabla 32: Funciones características resultantes de los 5 escenarios. ....	87



## GLOSARIO

**Jugador:** Hace referencia a los participantes de un juego ya sea cooperativo o no cooperativo, quienes compiten en forma conjunta o antagónica por un beneficio. En este documento se refiere a los participantes en una coalición.

**Coalición:** En teoría de juegos se refiere al conjunto de jugadores que se unen o coluden con el fin de sacar provecho de una situación o mercado, potenciando sus habilidades individuales con las de los otros jugadores.

**Asignación (Teoría de juegos):** Dentro de la teoría de juegos colaborativos una asignación, hace referencia al beneficio otorgado a un jugador por pertenecer a una coalición. La asignación puede ser en términos de un beneficio o de un costo, cuando será entonces negativa.

**Economías de Escala:** En logística; una economía de escala se refiere a la acción de obtener ahorros mediante el aprovechamiento de los costos fijos asociados a la administración de la cadena de suministros, en procesos como: el transporte, almacenamiento, compra de materiales, etc. Por otro lado, se consideran también economías de escala, a los ahorros que se pueden lograr mediante la compra masiva de productos o servicios, estimulados por descuentos que ofrece un proveedor.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos logísticos y la administración de la cadena de suministro inciden significativamente en la productividad de las empresas. Se estima que los costos logísticos representan entre el 18% y 35% del valor del producto final en América Latina y el Caribe, mientras que en los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico -OCDE- impactan sólo un 8%. Adicionalmente, calculados como porcentaje del producto interno bruto, en Latinoamérica estos costos superan entre el 50% y el 100% a los países de la OCDE (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014). La gestión de la cadena de suministros, exige control y eficacia sobre el flujo de productos, fondos e información; una buena administración podría ser sin duda parte esencial de la estrategia competitiva de las compañías (Ballou, 2004).

En consideración de lo anterior, el objetivo de practicantes y académicos consiste crear la mayor cantidad de valor total posible en la cadena de suministro, entendiendo el concepto de valor como la diferencia entre lo que vale el producto final para un cliente, y el costo incurrido para satisfacer su requerimiento; de esta manera, disminuir el costo total logístico es crucial para la generación efectiva de valor (Chopra & Meindl, 2006) pero cumpliendo con los requerimientos del cliente en el menor tiempo posible, en la cantidad acordada y garantizando rentabilidad. En la búsqueda de este equilibrio, es imprescindible la intervención sobre los procesos que se llevan a cabo a lo largo de la cadena, dado que el grueso de decisiones de diseño sobre dichos procesos tienen un efecto directo sobre la eficiencia y rentabilidad de la cadena de suministro (Ballou, 2004; M. E. Porter, 1985).

No obstante, las cadenas de suministro no sólo se ven afectadas por las decisiones de quienes las administran, sino que son sensibles a las condiciones del lugar donde operan. En este sentido, el Banco Mundial en su reporte anual *Doing Business* y tomando como referencia su indicador para medir la facilidad para hacer negocios en los países del mundo, ha identificado que el desarrollo de las redes de transporte y de telecomunicaciones, las políticas portuarias, arancelarias y aduaneras, y el desarrollo de plataformas logísticas de los países, influyen de manera significativa sobre el desempeño de las cadenas de suministro que los atraviesan (Banco Mundial, 2016a; Doing Business Blog, 2012; World Bank, 2014). Así mismo, se establece que aquellas naciones que de manera generalizada cuentan con cadenas de suministro con altos desempeños, tienen de suyo condiciones para albergar empresas altamente productivas. Es por ello que tales países son atractivos para la inversión de capital extranjero y son epicentros de progreso.

Otro importante indicador de la calidad logística de las naciones, es el también publicado por el Banco Mundial y denominado como el *Índice de Desempeño Logístico* (LPI; por sus siglas en inglés Logistic Performance Index). En sus clasificaciones, por lo general las naciones desarrolladas tales como los miembros de la OCDE ocupan los primeros y mejores lugares, mientras que los países del tercer mundo se ubican de la mitad hacia debajo de la

clasificación. Por su parte, Colombia a nivel general posee problemas de competitividad manteniendo un costo logístico cercano al 15%, y sus resultados del indicador LPI no son promisorios; en el 2012 se ubicó en el puesto 64 entre 155 países, luego descendió al puesto 97 entre 160 países en 2014; para el año 2016 el país clasificó en el puesto 94. Este bajo desempeño está explicado en parte por las ineficientes prácticas de las aduanas, carencia de capacidades de seguimiento, una infraestructura insuficiente y la falta de un sector de transporte de carga desarrollado, pero sobre todo se evidencia gran debilidad en el diseño de cadenas logísticas que permitan contratar envíos a precios competitivos (Banco Mundial, 2014).

El Gobierno de Colombia desde el año 2008 (CONPES 3527, 2008) ha venido impulsando el desarrollo logístico como uno de los ejes fundamentales para mejorar su productividad y competitividad. Sus principales apuestas se encuentran en el mediano y largo plazo, a través del fortalecimiento de su infraestructura vial y portuaria, sin embargo el desarrollo no depende exclusivamente de las redes viales y plataformas logísticas de un país, sino también de las relaciones que se establecen entre los actores de la economía, tal como afirma Porter (2000). Cuando las externalidades de la empresa son adversas, es necesario recurrir a alternativas que permitan el desarrollo no sólo individual sino grupal, en este sentido la aglomeración y asociación espontánea entre actores competidores y no competidores del mercado, favorece el desarrollo mancomunado, ya que permite potenciar las habilidades y de esta manera explotar oportunidades de mercado o la creación de ventajas competitivas (M. Porter, 1996).

La presente investigación a través de la conformación de asociaciones empresariales busca disminuir costos logísticos relacionados con la administración de inventarios. Esta alternativa no depende del desarrollo logístico del país, sino de la voluntad, habilidades y capacidades de cada uno de los participantes. La propuesta se fundamenta en la explotación de las economías de escala que se pueden lograr al realizar el reabastecimiento de múltiples ítems de forma simultánea, conociendo que existen costos fijos relacionados con el proceso de solicitar y mantener inventarios, problema que en la literatura se conoce como el JRP<sup>1</sup>. La apuesta de esta propuesta consiste en el aumento del volumen de carga gestionada a través de la formación de coaliciones empresariales, logrando de esta manera la reducción del costo unitario gracias a la explotación de costos fijos, el modelo ha sido denominado en este trabajo como CJRP<sup>2</sup>. Adicionalmente, se consideran dos restricciones: la capacidad de almacenamiento y la capacidad de las unidades de transporte, a diferencia del irrestricto JRP. El diseño propuesto fue puesto a prueba considerando las condiciones del Departamento del Atlántico. Sin embargo, los procesos de comercio exterior por regulaciones Gubernamentales deben ser similares en todo el territorio colombiano, además el modelo es

---

<sup>1</sup> Problema de reabastecimiento conjunto, Joint Replenishment Problem por sus siglas en inglés (JRP).

<sup>2</sup> Collaborative Joint Replenishment Problem (CJRP). El cual es una ampliación con aplicación real del JRP bajo prácticas colaborativas.

escalable y aplicable a otras regiones, ya que existen evidencias de ineficiencias logísticas en muchos países del mundo, tal como revelan los reportes del Banco Mundial. Una condición importante para la conformación de las coaliciones, es la compatibilidad de la carga, la cual además debe ser embalada y unitarizada de forma regular. El medio de transporte propuesto es el marítimo, puesto que ofrece bajo costo y gran volumen, además de una frecuencia y puntualidad regulares (Ballou, 2004).

En la literatura se reportan resultados favorables mediante el uso de prácticas colaborativas como mecanismo para mejorar el rendimiento de cadenas de suministro. Sin embargo, son escasos los reportes hechos hasta la fecha, tal como ya habían destacado Cachon & Netessine (2006). De forma general, la colaboración permite acceder a oportunidades y beneficios que de forma individual no podrían ser alcanzadas, por ejemplo la disminución de costos de mantenimiento de inventarios o el costo de transporte mediante el uso eficiente de espacios; otra oportunidad está en la negociación de tasas y tarifas reducidas por concepto de servicios relativos a la carga (Bartholdi & Kemahlioglu-Ziya, 2005; Chen & Chen, 2005; Granot & Sošić, 2003).

Durante el desarrollo de la presente investigación fue necesario entender los procesos típicos de importación que se llevan a cabo en Colombia, para lo cual se recurrió a consultas directas con expertos y a los reportes de investigaciones anteriores (Amaya et al., 2017). El reconocimiento de cada uno de estos procesos, permitió primero clasificar los costos susceptibles a ser disminuidos mediante explotación a escala, y segundo el desarrollo de una estructura de costos que posteriormente fue de gran utilidad para estimar los parámetros de costos del modelo CJRP.

Por otra parte, la conformación de coaliciones o asociaciones no tiene otro objetivo que alcanzar mejores beneficios o ahorros. Sin embargo, una dificultad inherente consiste en hacer una repartición de dichos beneficios de tal forma que se satisfagan los intereses de los jugadores pero que además prevenga la desintegración de la coalición; o que en otras palabras, garantice equilibrio. Para cumplir con este objetivo, se hizo uso de las teorías introducidas por Neumann & Morgenstern (1944) y que hoy se conocen como la Teoría de Juegos Cooperativos. Se simuló cerca de 1.000 problemas con diferentes parámetros y tamaños; en todos se encontraron resultados favorables, dejando en evidencia la efectividad del modelo. Adicionalmente se desarrolló un caso de estudio con 4 empresas ubicadas en Barranquilla-Departamento del Atlántico. Donde una vez más se verificó la oportunidad para reducir costos mediante el uso de prácticas colaborativas, pero también permitió poner a prueba la estructura de estimación de costos propuesta; demostrando consistencia y practicidad.

Esta investigación tuvo como aportes fundamentales tres contribuciones: la primera consistió en el diseño de una estructura para parametrizar los costos de pedir y mantener inventarios, ya que en la literatura no se reportan estructuras que permitan calcularlos o estimarlos. La

segunda contribución consistió en la adaptación y ampliación de un procedimiento heurístico validado y reportado en la literatura, aplicable a instancias reales y efectivo para resolver el CJRP; si bien es cierto que el modelo propuesto es nuevo, las técnicas disponibles para resolver su antecesor –JRP- pueden ser ampliadas, generando entonces un nuevo desarrollo. Finalmente, la última contribución consiste en la aplicación de la técnica del Valor de Shapley basada en la contribución marginal de cada jugador como método de asignación de costos conjuntos de transporte y gestión de inventarios, que al ser compartidos disminuyen los costos totales de la coalición. Dicha disminución de costos constituye la ganancia adicional a ser compartida entre los miembros de la coalición, nuevamente sobre el mismo criterio de contribución marginal de cada jugador. La investigación contrasta los resultados que se obtendrían mediante el uso de la técnica tradicional de asignar costos según el volumen total transportado vs. la técnica del Valor de Shapley, encontrando como resultado que la última no sólo garantiza la satisfacción de los jugadores sino que entrega asignaciones más justas y equilibradas.

## CAPITULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

El presente capítulo tiene como finalidad sentar el mapa de ruta y el horizonte de la investigación, se presentaran los antecedentes del problema, se definirá la pregunta de investigación, las contribuciones al estado del arte y se fijaran los objetivos.

De manera general el capítulo presenta el problema, su contexto y demuestra su importancia en las Secciones 1.1 y 1.2. Seguidamente presenta la hipótesis de investigación y sus contribuciones al estado del arte en las secciones 1.3 y 1.4. Posteriormente se definen las acciones a desarrollar, y la forma como se pretende resolver el problema en la Sección 1.5. Los resultados esperados de la investigación están disponibles en la Sección 1.6. La metodología del proceso investigativo se presenta en la Sección 1.7 y finalmente las fuentes de información y el alcance se enuncian en las secciones 1.8 y 1.9.

### 1.1 ANTECEDENTES

#### 1.1.1 PANORAMA DE LA COMPETITIVIDAD LOGÍSTICA COLOMBIANA

La Costa Caribe Colombiana cuenta con una posición geográfica privilegiada, por la cercanía con los puertos de la costa Sur y Este de los Estados Unidos, los cuales demandan un alto flujo de cargas desde y hacia diferentes países Suramericanos. Se esperaría que esta ventaja comparativa potenciara la competitividad de las empresas Colombianas, generando un alto impacto en el desarrollo económico general del país, producto de las actividades de comercio exterior, más aun en los departamentos con desarrollo portuario como el Departamento del Atlántico. Sin embargo, el Banco mundial mediante el cálculo del Índice de Desempeño Logístico (LPI) ubica a Colombia en posiciones no favorables.

Luego de alcanzar el puesto 64 entre 155 países en el LPI de 2012, Colombia cayó al puesto 94 entre 160 países en el LPI de 2016. Las posiciones ocupadas por Colombia en cada versión del LPI han sido: puesto 82 en 2007, puesto 72 en 2010, puesto 64 en 2012, puesto 97 en 2014 y puesto 94 en 2016. Luego de un notorio avance de 2007 a 2012, el país, en solo dos años, pierde prácticamente todo lo que había avanzado. Desde el punto de vista del indicador integral de desempeño, que es el que sirve para posicionar cada nación, los valores han sido de 2,50, 2,77, 2,8, 2,64, 2,61 en una escala de 0 a 5, para 2007, 2010, 2012, 2014 y 2016 respectivamente. Colombia retrocedió en todos los componentes que se evalúan para calcular el indicador integral de desempeño. Dichos componentes tienen en cuenta varios aspectos de la cadena logística que afectan la competitividad de las empresas como son: infraestructura, trazabilidad, idoneidad logística, comercio exterior y aduanas. El detrimento más notorio en el periodo 2012-2014 fue el del componente *puntualidad*, pues del puesto 57 en 2012 cayó al puesto 111 en 2014. En *infraestructura y calidad y competencias logísticas*, se perdieron 30 y 39 puestos en relación a 2012, respectivamente. El mejor puntaje de Colombia fue en el componente aduana, en el que ocupó el lugar 79, pero por

debajo de los puestos ocupados en este rubro en los LPI de 2012 y 2010 (64 y 66 respectivamente).

Otro referente es proporcionado por el reporte Doing Business (DB) en su sección de comercio transfronterizo, entidad que realiza mediciones objetivas de las normas que regulan la actividad empresarial de un país. Dicho reporte establece que los procedimientos engorrosos en aduanas, la ineficiente operación de los puertos y la infraestructura inadecuada generan costos y demoras en los procesos de importación y exportación. Colombia ocupó el puesto 64 entre 155 países en 2012, luego pasó al puesto 91 entre 160 países en 2014; para el año 2015 los resultados no fueron los mejores, puesto que se pasó al puesto 111, sin embargo para el año 2016 se clasifica al país en el puesto 110, mejorando una posición. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los resultados obtenidos a nivel país en el año 2016. En la dimensión de Aduanas (Customs) Colombia se encuentra por debajo del promedio de América Latina y el Caribe (color amarillo) con cerca de dos puntos, mucho más debajo de los países miembro de la OCDE (color verde) con el doble de puntos.

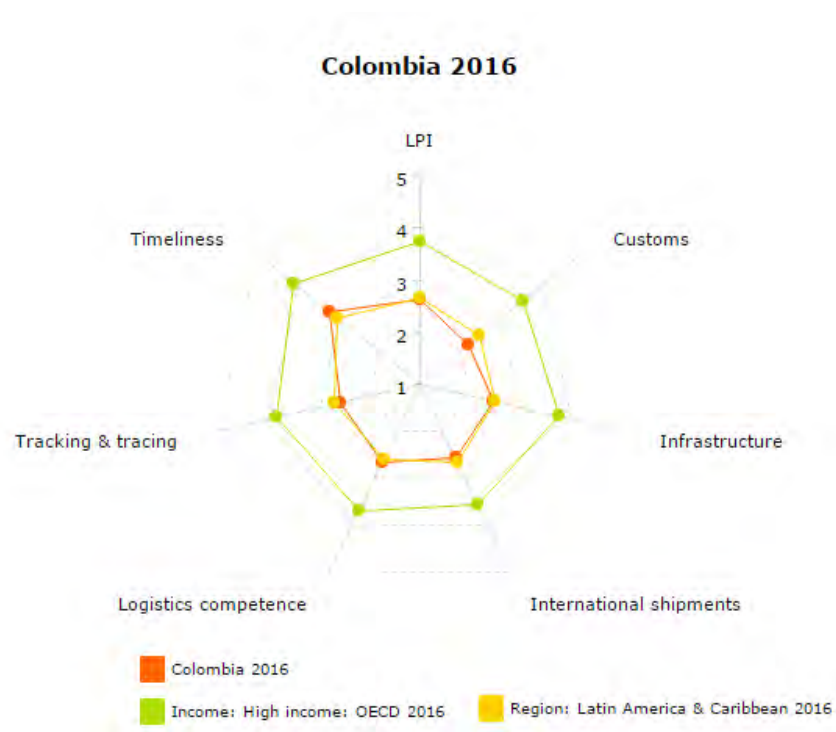


Figura 1: Gráfico radial de los resultados del LPI 2016

Fuente: World Bank (2016)

Igual ocurre en el caso de trazabilidad de carga (Tracking and tracing) y envíos internacionales (International Shipments), mientras que en el resto de dimensiones se

encuentra dentro del promedio de América Latina, pero por debajo en todos los casos con respecto a los países de altos ingresos; OCDE.

Estos resultados evidencian una baja competitividad en tiempos y costos a la hora de exportar carga en contenedores con respecto al promedio de América Latina y el Caribe, más aun con los países miembros de la OCDE, que lo hacen a un costo del 45% en importación y un 54% en exportación menos que nuestro país. En términos de tiempos Colombia en el 2014 superó el promedio de América Latina en 3 días para hacer una exportación, y se veía superada en 3 días por los países de la OCDE. El panorama de las importaciones no resultaba ser tampoco prometedor tampoco en este año. Para el 2016 Colombia inició con un promedio de 5 días para hacer una exportación, casi 1.5 días más que el promedio de América latina, y cerca de 4 días más si comparamos con los países del OCDE, quienes lo hacen en menos de un día. Para el caso de las exportaciones, el tiempo promedio colombiano es de 3 días, un día menos que el promedio de Latinoamérica, por su parte los países miembro de las OCDE lo hacen en menos de un día. En términos de costos, se espera que para el año 2016 Colombia inicie con un costo promedio para completar una importación de 545 USD, frente a los 665 del promedio latinoamericano y 123 de los países de la OCDE un 18% menos y un 4,5% más respectivamente.

En términos generales, la competitividad del sector logístico colombiano queda en entredicho; más aún, considerando la suscripción a tratados de libre comercio (TLC) con potencias mundiales como Estados Unidos, dejando en desventaja las empresas nacionales.

*En general, las empresas del Departamento del Atlántico y del país presentan ineficiencias en términos logísticos, producto de procesos ineficientes en Comercio transfronterizo, elevados tiempos y costos. Afirmación que se puede sustentar con los resultados expuestos anteriormente por parte del DB y el LPI, además corroborados en las entrevistas realizadas a expertos en comercio exterior de empresas locales.*

### **1.1.2 PANORAMA DE LA COMPETITIVIDAD LOGÍSTICA DE LA REGIÓN CARIBE COLOMBIANA**

El Departamento del Atlántico, cuenta con accesibilidad privilegiada; su cercanía con el Mar Caribe, el Río Magdalena y la existencia de puertos y aeropuertos de carga, le otorgan una verdadera ventaja comparativa en Colombia y Suramérica. Esta oportunidad debería potenciarse junto con estrategias y políticas que favorezcan el uso eficiente de recursos logísticos, en apoyo a las industrias que desarrollan procesos transfronterizos en la Región Caribe. Iniciativas que generen disminuciones en términos de tiempos y costos a lo largo de la cadena logística, y que de esta manera contribuyan en la generación de una ventaja competitiva para la Región.



Michael Porter en su visita a Barranquilla en el 2012 mencionó que sobre esta ciudad se ha puesto la mirada del mundo, dada su importancia como epicentro de las operaciones logísticas frente los distintos tratados de libre comercio. Sin embargo, mencionó que es necesario que se generen o potencien los clústeres regionales, e hizo énfasis en el clúster de servicios logísticos, quien contribuiría fuertemente en la generación de ventaja competitiva y valor agregado para las empresas nacionales y sobre todo de la Región Caribe. Por otra parte reafirmó la necesidad de potenciar las capacidades de nuestros puertos y de mejorar la eficiencia de los procesos transfronterizos como estrategia para mejorar la competitividad de las empresas de la región.

El Gobierno Nacional decidió apoyar las industrias nacionales para lograr incrementar su competitividad y productividad, y lo ha expresado en el documento CONPES 3527 aprobado en el año 2008, en el cual decidió apoyar iniciativas para generar alto impacto sobre infraestructura logística y de transporte, la ciencia, tecnología e innovación entre otras, como acciones para lograr el objetivo trazado. En apoyo al incremento efectivo de la productividad y competitividad de Colombia, se aprobó el documento CONPES 3547 el 27 de octubre de 2008, donde se expresan las estrategias para el desarrollo del sistema logístico nacional. En ambos documentos se reconoce la alta importancia de la logística en la productividad y conectividad de las empresas. Así mismo, se reconoce la brecha que existe entre el estado actual del país y los países de mayor desarrollo, producto de un bajo rendimiento logístico, y establece plenamente su deseo por disminuir los costos logísticos de la industria colombiana, reafirmando que el sector logístico tiene una alta incidencia sobre la productividad nacional. Adicionalmente el decreto 2828 de 2006 y el CONPES 3439 de 2006 el Gobierno Nacional reconoce la necesidad de articular esfuerzos entre actores del sector público y privado, dejando claro que el trabajo mancomunado se convierte en una estrategia fundamental para fortalecer el sector logístico.

Desde hace décadas, dentro de la comunidad científica, autoridades en el tema de productividad y competitividad han reconocido la importancia y el impacto de los clúster y de la asociación de empresas como estrategia para incrementar la competitividad de las naciones. Porter (1998) asegura que la conformación de clúster es decisiva a la hora de competir vivazmente en los distintos mercados, afirma que estos se convierten en una medida para disminuir tiempos y costos dada la colaboración espontánea entre los distintos actores agrupados, mientras aumentan la confianza y la calidad, pero también facilitan a la innovación por el alto intercambio de información y especialización.

Es evidente la necesidad de dedicar esfuerzos en favor del aumento del rendimiento y desarrollo del sector logístico colombiano, de forma que éste logre impulsar efectivamente las distintas industrias en la búsqueda de una verdadera ventaja competitiva para la región, que apoye fuertemente un incremento de la productividad y la competitividad de las empresas del país.

Una de las iniciativas regionales para paliar las deficiencias logísticas del Departamento del atlántico se denominó programa LogPort, esta iniciativa nace con el propósito de diseñar e implementar una plataforma virtual de gestión científica, tecnológica y de innovación para el mejoramiento de la eficiencia operativa del sistema logístico nacional con amplio impacto en el Caribe Colombiano, mediante el desarrollo de proyectos específicos en transporte, redes logísticas, integración de servicios (plataforma logística) y operación portuaria. Uno de sus componentes importantes lo constituye el proyecto “Intervención sobre Prácticas Integrativas en el Clúster de Logística del Atlántico” (de aquí en adelante, denotado en corto “Clúster”), el cual trata sobre la posibilidad de generar propuestas de colaboración viables para el Clúster Logístico del Atlántico. El desarrollo de tal proyecto implicó el análisis de un número estadísticamente importante de cadenas de suministro con la finalidad de encontrar oportunidades para desarrollar procesos de reingeniería al interior de cadenas e instaurar practicas colaborativas. Es decir, se pretendía presentar propuestas estructuradas y viables a actores involucrados en los procesos ComEx como los puertos, aduanas y otras autoridades. Tales propuestas fueron un insumo y oportunidad esencial para el desarrollo del presente trabajo.

A manera de conclusión de los antecedentes presentados y corroborados en el proyecto Clúster Logístico del programa LogPort (Amaya et al., 2017), se tiene que:

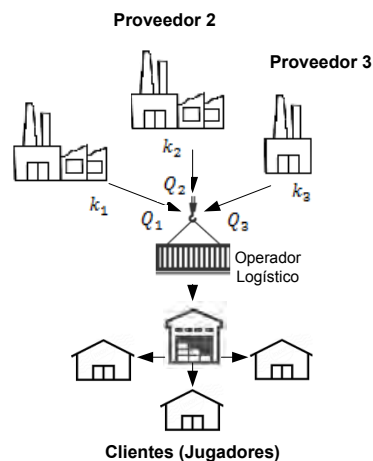
- Las empresas de la Región Caribe presentan problemas de competitividad logística debido a ineficientes procesos aduaneros y regulaciones gubernamentales excesivas.
- La mayoría de las empresas del Departamento del Atlántico hacen uso del método de despacho directo, como mecanismo de importación, con una ineficiente gestión, debido a la subutilización de contenedores y elevados costos fijos.
- Una muestra significativa de empresas presentan un ciclo total logístico elevado, lo que implica altos costos de inventarios.
- El costo total de importación para las empresas de la Región Caribe se encuentra en el decil 10, en comparación con los países de Latinoamérica, dejando en entredicho la competitividad de estas empresas.
- El costo inherente al proceso de hacer un pedido, es elevado (decil 9), comparación con las empresas de nuestros países vecinos, este elevado costo obedece en gran parte a una eficiente gestión de comercio exterior y a las elevadas tarifas que ofrecen las intermediadoras aduaneras.
- El costo de transportar contenedores es alto en la Región (decil 8), adicionalmente es frecuente la subutilización de estos.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Considerados los precedentes expuestos en las secciones anteriores, se corroboró que Colombia presenta un rezago en términos de competitividad logística a nivel mundial dejando abierta la oportunidad para desarrollar iniciativas de reingeniería sobre las cadenas de suministro que atraviesan el país. Esta investigación es relevante en la medida en que propone una alternativa de reducción de costo logístico que podría implementarse en el corto y mediano plazo, y que puede implementarse para sacar un mejor provecho de las condiciones actuales del país.

La estrategia colaborativa reporta buenos resultados en la literatura en términos de reducción de costos, y aumento en el nivel de servicio (Arango Serna, Adarme Jaimes, & Zapata Cortés, 2013; Bartholdi & Kemahlioglu-Ziya, 2005; Cachon & Netessine, 2006; Chen & Chen, 2005; Disney & Towill, 2003). Esta promisorio alternativa se convirtió en el eje central de esta investigación a partir del interés por verificar la factibilidad técnica y económica de estrategias cooperación entre empresas, basadas en compartir costos relacionados con la gestión de inventarios.

La *Figura 2* presenta el esquema general de funcionamiento del modelo de colaboración en inventarios vislumbrado. Los *Clientes* en este caso corresponden a los jugadores del modelo, quienes cuentan con proveedores fuera del país. Un *Jugador* podría tener uno o varios proveedores, e incluso un mismo proveedor podría atender varios jugadores. El modelo propuesto asume que los proveedores incurren en el costo de transporte, seguros y documentos hasta un punto de consolidación en cercanías a un puerto de origen, asumiendo un Incoterm FOB. Un operador logístico debe consolidar la carga para ser embarcada en un buque con destino a un puerto en cercanías a los jugadores. Otro supuesto es que la carga llega justo a tiempo; existe una labor de coordinación cliente-proveedor, cada uno de los *Proveedores* envía la carga cuando todos los despachos se encuentran disponibles para la entrega.



*Figura 2: Esquema general de funcionamiento modelo CJRP. Modelo de reabastecimiento conjunto de inventarios*

El modelo tiene fines tácticos, por tanto un primer problema a solucionar es determinar todos los costos logísticos relacionados con los procesos de importar, transportar y almacenar carga. Así mismo debe construirse una estructura de estimación para estos costos, que debe ser robusta y consistente, de forma que pueda ser aplicada en cada una de todas las empresas que puedan consultarse. Por otra parte, el diseño del modelo implica determinar la frecuencia con que los proveedores deben enviar la carga a los puntos de consolidación, la cual debe arribar con la anticipación necesaria para ser consolidada y no generar sobre costo por almacenamiento. Una vez consolidada la carga en contenedores, debe enviarse a los puertos que corresponda, para finalmente ser enviada al destino final vía marítima. En este sentido deben responderse varios interrogantes: ¿Con qué frecuencia debe hacerse el reabastecimiento de cada tipo de carga? ¿Cuál debe ser el tamaño de lote por tipo de carga? ¿Qué familias de productos se deben reemplazar de manera conjunta? ¿Cómo deben repartirse los beneficios obtenidos? Dar respuesta a esta última pregunta envuelve un problema adicional: realizar una asignación de beneficios a los integrantes de las coaliciones que genere equilibrio, es decir, que no debe existir alguna otra asignación racional que otorgue beneficios mejores que los propuestos. El diseño final debe ser genérico, por tanto podría aplicarse en ámbitos similares siempre y cuando se conozcan los diferentes costos asociados al modelo.

Luego de contemplar la idea, y realizar una revisión exhaustiva de literatura, surgió la siguiente pregunta de investigación:

***¿Cómo se puede diseñar un modelo de reabastecimiento conjunto de inventario, que demuestre beneficios en términos de disminución de costos de importación y/o mantenimiento de inventarios, a través de la asociación de empresas con potencial para realizar prácticas colaborativas, con demanda regular y que realizan importaciones de cargas contenerizadas, compatibles entre sí, mediante transporte marítimo hacia el Departamento del Atlántico?***

### **1.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

La hipótesis de la investigación es que la estrategia de establecer prácticas colaborativas en inventarios, tal como se expresa en el modelo CJRP, demuestra beneficios económicos, siempre y cuando se cumplan los supuestos de compatibilidad de carga, regularidad de la demanda, intensión positiva hacia la colaboración y negociaciones transparentes con proveedores de servicios logísticos. La explotación de economías de escala permiten la reducción de costos unitarios, esta tiene sentido en este caso porque se saca un mejor provecho de los costos fijos inherentes al proceso de importación y en general de

aprovisionamiento, mejorando la productividad de los participantes, de igual forma el ciclo total logístico debería disminuirse, con envíos más frecuentes y tamaños de lotes menores, implicando un menor costo de mantener inventarios (Khouja & Goyal, 2008; Silver, 1974, 1976).

*“Para un ítem que demanda y genera una orden de pedido (ítem rector,  $k = 1$ ) es una posibilidad para reducir costos, ya que debe realizar una orden donde a lo sumo el costo será el individual sin agrupación. Para los otros ítems es una oportunidad para disminuir costos”.* (Silver, 1974).

#### **1.4 CONTRIBUCIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

El aporte o las contribuciones al estado del arte de esta investigación pueden resumirse en tres:

**1)** El diseño de una estructura consistente para parametrizar los costos de pedir y mantener inventarios

La literatura reporta los inductores de costos asociados a los procesos de pedir y mantener inventarios, pero no aporta la forma de cálculo. Por esta razón y con el objetivo de validar el modelo CJRP, se propone una estructura que pueda ser aplicada de forme consistente y equiparable en cualquier empresa.

**2)** Adaptación y ampliación de un procedimiento heurístico validado y reportado en la literatura, aplicable a instancias reales y efectivo para resolver el CJRP.

El problema ha sido denominado en el presente trabajo como el problema de reabastecimiento colaborativo conjunto, o CJRP. En su esencia es el conocido JRP, sin embargo el CJRP difiere del anterior en algunos supuestos y además se incluyen dos restricciones adicionales. Las diferencias sustanciales son: El CJRP considera niveles de servicio por familia de productos, demanda estocástica, restricciones de capacidad de transporte y almacenamiento, diferente al JRP que es no restringido y considera demanda determinística. Por otra parte no existen reportes de problemas de la línea del JRP en conjunto con colaboración en cadenas de suministros, a pesar de que crecientemente la colaboración en cadenas de suministros ha cobrado importancia en la comunidad científica, como una apuesta para potenciar la productividad de las empresas, y de mejorar la eficiencia en costos (Arango Serna et al., 2013; Bartholdi & Kemahlioğlu-Ziya, 2005; Chen & Chen, 2005; Pramataris & Miliotis, 2008). Sobre esta base se afirma que esta investigación es un aporte significativo para el estado del arte.

**3)** La propuesta y aplicación de un método de asignación de costos de transporte y gestión de inventarios, basado en la contribución marginal de cada jugador para disminuir los costos totales de la coalición.

La importancia de esta última contribución radica en que la asignación de costos de transporte y gestión de inventarios tradicional, se realiza de forma lineal y proporcional al volumen de carga, mientras que en escenarios donde existe cooperación entre jugadores, la asignación se basa en la repartición de beneficios en términos de disminución del costo, proporcional a la capacidad de cada jugador en obtener beneficios para la coalición. En el caso que ocupa esta investigación se hará uso del valor de Shapley (Shapley, 1953b), técnica que garantiza por medio de uno de sus axiomas que la asignación del costo será a lo sumo el valor actual de gestión de inventarios, bloqueando la posibilidad de un incremento del costo que perjudique a algún jugador. Por otra parte el valor de Shapley garantiza estabilidad en la coalición; generando una asignación inmejorable para los jugadores. Este tipo de asignación busca motivar a los jugadores a establecer prácticas colaborativas, reflejando el beneficio en términos monetarios.

Khouja & Goyal (2008), afirman que los investigadores del área de optimización se han dedicado en los últimos 40 años a encontrar una solución óptima y computacionalmente factible al problema JRP clásico; sin embargo los supuestos de este problema resultan distar muchas veces de la realidad de un sistema de inventarios. Indudablemente, un JRP es mucho más aplicable en la vida real que el caso de reabastecimientos individuales de productos; sin embargo falta mucha investigación para llevar este problema a instancias reales, muchas relajaciones del problema han sido propuestas y múltiples enfoques han sido desarrollados, cada una con ventajas y desventajas y sobre todo varias técnicas de solución han sido empleadas en función del JRP. La búsqueda de una solución óptima ya ha llegado su punto de saturación, es hora de concentrar esfuerzos en desarrollar aplicaciones del JRP en situaciones de inventarios reales (Khouja & Goyal, 2008).

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un modelo de reabastecimiento conjunto de inventario, que demuestre beneficios en términos de disminución de costos de importación y/o mantenimiento de inventarios, a través de la asociación de empresas con potencial para realizar prácticas colaborativas, con demanda regular y que realizan importación de cargas contenerizadas, compatibles entre sí, y mediante transporte marítimo hacia el Departamento del Atlántico.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Capturar y analizar el estado “AS IS” de los procesos de importación típicos de la Región, a través del análisis de una muestra dirigida de empresas pertenecientes a cadenas ComEx.
2. Diseñar y validar una estructura de estimación de los parámetros de costos necesarios en el modelo.
3. Adaptar un procedimiento heurístico que resuelva el CJRP de forma genérica, y a su vez satisfaga las necesidades características de los procesos de importación de carga del Departamento del Atlántico.
4. Determinar un procedimiento para calcular y asignar los beneficios obtenidos mediante la cooperación.
5. Generar una comparación entre la mejor política de reabastecimiento individual “AS IS” y la propuesta “TO BE” que demuestre los beneficios de colaborar.

### **1.6 RESULTADOS ESPERADOS**

Los resultados esperados de la investigación se resumen en 5, los cuales se presentan seguidamente:

- Modelo logístico táctico basado en colaboración, que demuestra beneficios económicos y mayor eficiencia que el modelo logístico tradicional o método directo individual.
- Procedimiento heurístico validado para resolver el CJRP e integrado con técnicas de teoría de juegos como alternativa para evaluar coaliciones en cadenas ComEx.
- Artículo de investigación acerca de la estructura de costos empleada para parametrizar el CJRP
- Artículo de investigación de los resultados obtenidos al resolver el CJRP para demanda discreta.
- Artículo de investigación de los resultados obtenidos al resolver el CJRP en versión estocástica.

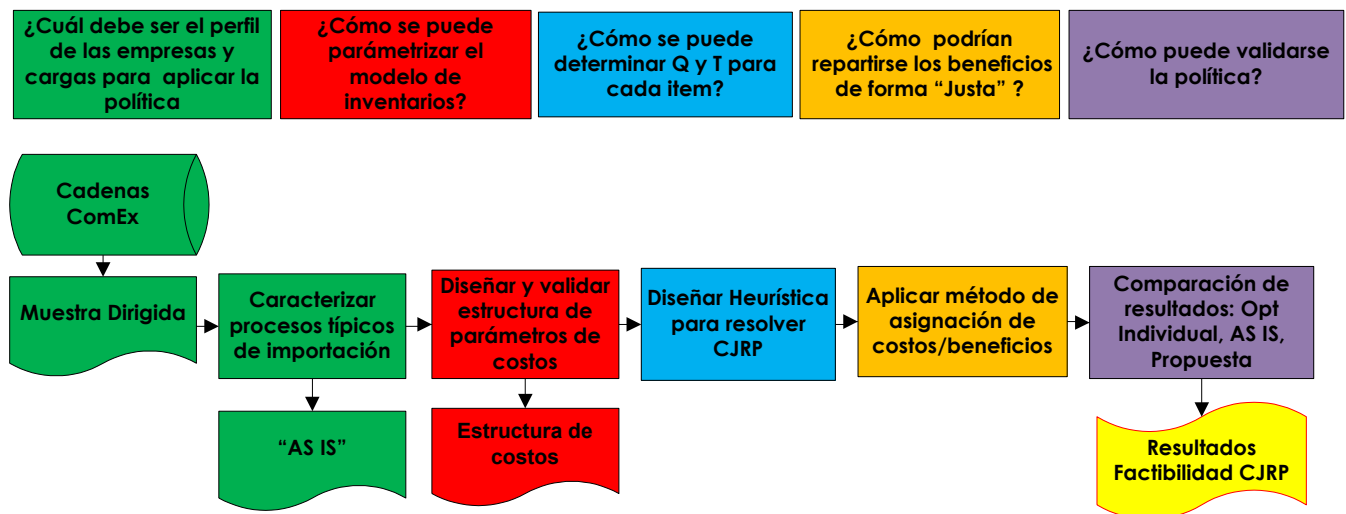
### **1.7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación pretendía verificar técnicamente la validez del modelo de reabastecimiento conjunto de inventario colaborativo (CJRP), para lo que fue necesario resolver un problema central basado en el diseño de un modelo de inventario costo eficiente; satisfaciendo la demanda de cada uno de los participantes, a un nivel de servicio establecido, considerando restricciones de capacidad de almacenamiento y manteniendo rentabilidad. La *Figura 3* presenta un esquema a grandes rasgos que resume la serie de pasos seguidos para

completar los objetivos de la investigación. Las actividades presentadas en la parte media permitieron responder las preguntas de investigación ubicadas en la parte superior, a cada paso del proceso le fue asignado un color. Al completar los 5 pasos fue posible aseverar acerca de la oportunidad que ofrece el modelo para reducir costos logísticos. Seguidamente se presenta una ampliación de los pasos seguidos durante la investigación:

Figura 3: Resumen del diseño metodológico del proyecto

**¿Cómo se puede diseñar una política de remplazo conjunto de inventario, que demuestre beneficios en términos de disminución de costos de importación y/o mantenimiento de inventarios?**



- *Revisión literaria:* Consistió en clasificar taxonómicamente las variaciones del Problema de reabastecimiento conjunto -JRP- mediante la revisión de literatura científica, casos de estudio e iniciativas públicas. Por otro lado se hizo una revisión de las técnicas de modelación de juegos colaborativos, sin embargo en esta última sólo se espera emplear una aplicación de los métodos y no una modificación; valor de Shapley.
- *Caracterización de los procesos de importación típicos:* Fue de vital importancia entender la dinámica de funcionamiento de los procesos de importación a los que se someten las empresas en Colombia, identificando los procesos tanto comunes como particulares, y los diferentes elementos de costos y su naturaleza. Para hacer la



recolección de la información fue necesario visitar empresas transportadoras, intermediadoras aduaneras, distribuidoras y manufactureras, de esta manera fue posible conocer cada uno de los apartes necesarios para completar una importación.

- *Diseño de una estructura de estimación de los parámetros de costos:* No se reporta en la literatura la forma de estimación de los parámetros de costos necesarios para el modelo. Estos costos se clasifican en 3 básicamente: Costo de pedir fijo y variable, y el costo de mantener. A su vez, se hizo la identificación y clasificación de los inductores de costos, este paso fue fundamental para garantizar resultados confiables en el paso de validación. Las fuentes de información consultadas se restringieron a la literatura de gestión de inventarios y de administración de la cadena de suministro, los modelos estándar propuestos por SCOR®.
- *Diseño de la Heurística para resolver el CJRP:* Consistió en el diseño del procedimiento heurístico que busca una disminución de los costos globales de gestión de inventarios. El procedimiento se sustenta en la literatura disponible, donde se reporta en su forma clásica como JRP, un problema NP-Hard, el cuál fue diseñado para el reabastecimiento de múltiples ítems para una única empresa, con demanda determinística y sin restricciones. En el caso desarrollado en esta investigación, se hicieron múltiples cambios; se consideró la demanda como estocástica y se tuvieron en cuenta dos restricciones: la capacidad limitada de las unidades de transporte y la capacidad de almacenamiento.
- *Implementación del sistema de asignación de beneficios:* La colaboración entre jugadores trae consigo beneficios económicos, en este caso representados en ahorros de costos logísticos. En la presente propuesta se hizo uso del valor de Shapley como mecanismo de asignación, el cual garantiza soluciones dentro del núcleo del juego, generando así estabilidad coalicional, esto es que; actuando de forma racional no existirá razón suficiente para que se disuelva la coalición propuesta, ya que los jugadores no podrán hacer una mejor repartición de beneficios que mejore simultáneamente los intereses de todos. Adicionalmente se hizo una asignación empleando el método tradicionalmente usado por los operadores logísticos, el cual consiste en dividir el costo total gestionado entre el volumen. Finalmente se hizo una comparación de los dos métodos, en términos de la variación porcentual en el costo que tiene el primero método con respecto al segundo.
- *Simulación y Experimentación:* Una vez diseñado y calibrada la heurística se generaron 1000 problemas, considerando la variación de todos los parámetros, con la finalidad de simular múltiples escenarios a los que podría enfrentarse una coalición de jugadores que deciden implementar el modelo CJRP. Los resultados obtenidos mediante la propuesta fueron contrastados con los resultados que podrían alcanzarse

implementando una política individual, los resultados se muestran en términos de ahorros porcentuales en costo.

## **1.8 FUENTES DE INFORMACIÓN**

Las fuentes de información primordiales de la investigación fueron *primarias*, consistieron en artículos científicos de revistas indexadas, libros especializados de gestión de la cadena de suministro, para el caso de la caracterización de procesos y el diseño de la estructura de costos fue necesario hacer visitas de campo a operadores logísticos e intermediadoras aduaneras. Por otra parte se hizo uso de bases de datos como: LegisComex, Cámara de Comercio de Barranquilla y ProColombia-Importaciones.

## **1.9 ALCANCE**

El objetivo fundamental de esta investigación se centra en el diseño de un modelo de reabastecimiento que demuestra beneficios económicos, usando como estrategia la cooperación entre empresas y la explotación de economías de escala. El modelo logístico propuesto permite diseñar políticas de inventario y la toma de decisiones a nivel táctico, no se encuentra dentro del alcance la toma de decisiones operativas. Si bien, se ha tenido especial cuidado al estimar los parámetros del modelo, las contingencias del día a día podrían provocar variaciones durante la operación. Se asume que las actividades de cubijaje de contenedores, manipulación y transporte se hacen de la forma regular y correcta.

Para diseñar el modelo se amplió y adaptó un modelo matemático de inventario multi-ítem denominado “JRP”, al cual se incluyeron restricciones de capacidad e inventario de seguridad para amortiguar las variaciones de la demanda, ya que se considera estocástica y normalmente distribuida. La regularidad de la demanda es necesaria, implica una alta posibilidad de presentar comportamiento normalizado, además de que es el caso más frecuentemente presentado en la vida real y es reforzado por el teorema del límite central, por tanto es un supuesto factible, tal como afirma Eynan & Kropp (1998). Hasta esta instancia, los resultados del modelo permiten el cálculo del periodo de reabastecimiento de cada ítem y el tamaño de lote, sin embargo el uso de prácticas colaborativas implica la asignación de beneficios entre jugadores, por lo que se hizo uso de la técnica del Valor de Shapley. La integración de estas dos situaciones se denominó como el problema de reabastecimiento conjunto colaborativo o “CJRP”, el cual es resuelto con una heurística basada en algoritmos genéticos. La cantidad de jugadores se ha fijado en 4 considerando la experiencia y opinión de expertos en comercio exterior y empresarios. Algunas de las razones expuestas para fijar este parámetro son la desconfianza entre las partes, el costo y dificultad de coordinación, pero sobre todo la inexperiencia en el uso de este tipo de estrategias.

Las prácticas colaborativas pueden darse en una o varias dimensiones. Sin embargo, en este caso los jugadores se limitan a compartirán espacios de bodega, dado que el la carga se transporta en contenedores compartidos, el costo de transporte y de legalización es también compartido. Estas tarifas fijas son pagadas tanto a operadores logísticos en el punto de consolidación como en el destino, por concepto de servicios relativos a la carga.

A un nivel práctico, el problema en cuestión implica un rediseño de las cadenas logísticas de las empresas que participantes en las coaliciones; ya que la propuesta implica la integración de cadenas que anteriormente operaban de forma independiente, por tanto es importante delimitar los eslabones de la cadena de suministro que se afectaran. El esquema logístico propuesto; contempla la consolidación de carga, manipulación y legalización en país de origen, transporte marítimo, manipulación y legalización en país de destino, y culmina con la desagregación de la carga en cercanías a la ubicación de los jugadores. Durante este recorrido existen diferentes tarifas, costos y gastos que son tenidos en cuenta. No es el objetivo de esta investigación determinar cuáles deben ser los participantes idóneos para conformar las coaliciones; el modelo se limita a entregar el mejor resultado que un conjunto de empresas puede alcanzar. Sin embargo existen condiciones necesarias para hacer parte de las coaliciones: Compatibilidad de la carga, forma regular de embalaje y unitarización, y que se haga mediante transporte marítimo.

Las respuestas del modelo están orientadas a indicar la frecuencia con que debe realizarse el reabastecimiento de agrupaciones de familia de producto, el tamaño de lote y el valor esperado del costo de gestión de inventarios para cada participante.

## **CAPÍTULO 2. REVISIÓN LITERARIA**

Con este capítulo se busca dar la dirección adecuada a la investigación, tomando como base los desarrollos que han representado un hito en la historia de las temáticas de interés para la investigación, y que facilitaran la solución del problema de investigación, de esta manera el autor queda provisto de un punto de partida que le otorga un mejor rumbo a la investigación. La sección 2.1 presenta aspectos preliminares necesarios para comprender la dinámica del comercio internacional. Por su parte la sección 2.2 presenta un resumen del modelo SCOR®, necesario para comprender la estructura de costos propuesta en el Capítulo 3. Finalmente la sección 2.3 presenta el estado actual de las técnicas consideradas idóneas para resolver el problema de investigación planteado en el Capítulo 1.

### **2.1 ASPECTOS PRELIMINARES DEL COMERCIO INTERNACIONAL**

Por ser el comercio internacional llevado a cabo entre diferentes países, hay un gran número de variables en juego, algunas particulares a cada país, pero al mismo tiempo existen patrones comunes a todos. Es así como existen organizaciones mundiales cuyos propósitos son medir y regular dichos patrones entre los diferentes actores del comercio internacional, con el propósito de generar comparativos y establecer reglas de juego. Por ejemplo, La Organización Mundial del Comercio (OMC) es la única organización internacional encargada de vigilar el cumplimiento de las normas que rigen el comercio entre los países y de igual forma es el mecanismo encargado de resolver las disputas que se puedan presentar. Para estas normas existen una serie de Acuerdos Internacionales, los cuales han sido firmados y negociados entre casi todos los países participantes del comercio internacional, con el propósito de facilitar las actividades de flujo de bienes y servicios, la OMC presenta un informe anual donde se consignan las regulaciones y directrices comerciales mundiales (Organización Mundial de Comercio, 1998). Dentro de estas mediciones globales entran en juego las Naciones Unidas a través del “The Trade Statistics Branch (TSB)” responsable de las estadísticas del comercio de bienes (IMTS), servicios (SITS), actividades turísticas (DTS) y la compilación de estadísticas básicas de la economía internacional. (UN Trade Statistics, 2014). Así mismo, participa el Banco Mundial, el cual es una organización no gubernamental que persigue dos objetivos principales: (i) terminar con la pobreza extrema en el curso de una sola generación y (ii) promover la prosperidad compartida. Este organismo se encarga de brindar apoyo económico a las naciones que lo necesiten, además se encarga de caracterizar el rendimiento de algunas operaciones económicas que influyen directamente sobre la prosperidad de las naciones. Esta organización aporta dos grandes indicadores en el comercio internacional; el Doing Business y el Logistics Performance Index (LPI), estos indicadores son de gran utilidad para comparar el desempeño de los países a nivel internacional ya que logran establecer indicadores equiparables entre todos los países. El hecho que el Grupo del Banco Mundial esté conformado por autoridades y ministros de los 188 países que lo conforma, le brinda el respaldo internacional. Por ejemplo el LPI es calculado en base a encuestas realizadas por el Banco mundial en asociación con

instituciones académicas e internacionales, compañías privadas e individuos involucrados en la logística internacional (Banco Mundial, 2015).

Por otra parte la publicación del Doing Business tiene como objetivo principal medir objetivamente las normas que regulan la actividad empresarial en 189 países y ciudades seleccionadas. “Al recopilar y analizar detalladamente datos cuantitativos para comparar en el tiempo los marcos reguladores de distintas jurisdicciones, Doing Business estimula cierto tipo de competencia entre las economías analizadas. También ofrece índices ponderables para incentivar procesos reformistas y constituye un recurso útil para miembros de la academia, periodistas, investigadores del sector privado y otras personas interesadas en el clima empresarial de cada país” (Banco Mundial, 2007b). El objetivo es presentar la facilidad para hacer negocios en las economías analizadas, mediante la medición de diferentes indicadores, entre los que se encuentra el comercio transfronterizo. Para éste se hace un registro de los tiempos y costos (se excluyen las tarifas arancelarias) requeridos para realizar una importación y exportación de una carga estándar a través de medios marítimos; para esto se tienen en cuenta las actividades de preparación de la documentación, aprobación por parte de la autoridad aduanera; transporte terrestre y manejo nacional; y manejo en terminal portuaria. La medición del proceso de exportación va desde el empaquetamiento de la mercadería en contenedores en la fábrica hasta su partida desde el puerto de salida. Por otra parte para la importación, se abarca desde la llegada del barco al puerto de entrada hasta la entrega del cargamento en el almacén de la fábrica.

Uno de los rasgos más destacables de la economía global es la configuración de una compleja y extensa red transnacional, a través de la cual la información, la materia prima, los componentes y los productos terminados fluyen desde su producción hasta los centros de consumo. Este fenómeno es la base del concepto de redes de producción, entendida como funciones, operaciones y transacciones interconectadas, a través de las cuales productos y servicios son producidos, distribuidos y consumidos, a través de fronteras internacionales (Coe, Dicken, & Hess, 2008). Este concepto ha sido aplicado a diferentes sectores y contextos, así como a un mayor entendimiento del abastecimiento global y como las manufacturas en el extranjero han cambiado el panorama económico mundial (Hess, Wai, & Yeung, 2006; Christopher et al., 2006).

La expansión austera y ágil de los sistemas de producción ha llevado a que las estrategias de abastecimiento de las empresas cambien, ya que ahora mismo se enfrentan a un dilema entre un abastecimiento global que les permite gozar de los beneficios económicos en cualquier parte del mundo, versus un abastecimiento local que permite responder más rápido al mercado pero con costos mayores (Guercini & Runfola, n.d.). Por otra parte la creación de clústeres de proveedores es importante para los flujos de entrada y salida de los productos a través de los sistemas logísticos y para el entendimiento de los procesos de producción. Mediante la estrategia de clúster, las empresas seleccionan un pequeño número de escenario productivos para estimular la colaboración entre todos los agentes involucrados,

aumentando la productividad y el compartir de tecnología con estos como una fuente de ventaja competitiva (M. E. Porter, 1985). En este sentido entender el funcionamiento de los sistemas logísticos es fundamental para identificar aquellos procesos no eficientes y que son susceptibles de procesos de reingeniería.

## 2.2 GENERALIDADES DEL MODELO SCOR

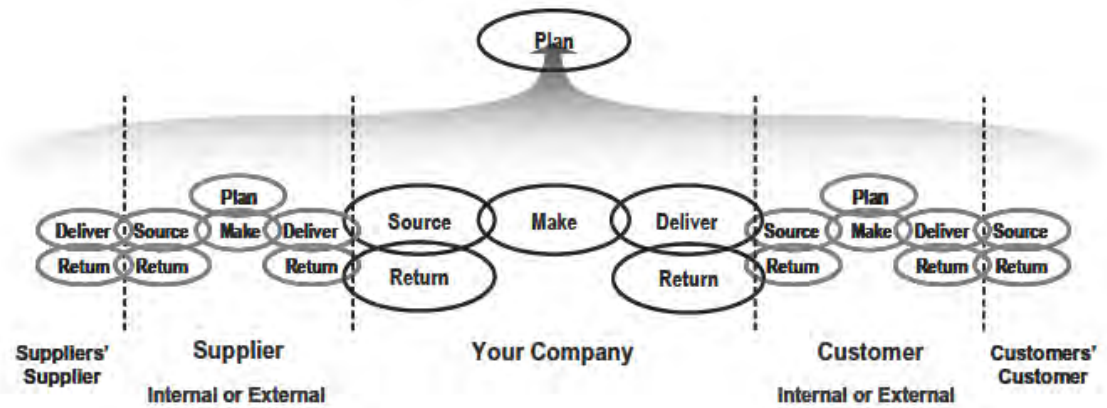
El Supply-Chain Operations Reference Model -SCOR®- (Supply Chain Council, 2010) es un modelo desarrollado por el Supply Chain Council como un recurso para tipificar las operaciones desarrolladas en las cadenas de suministro, estandarizando operaciones e integrando un lenguaje común que facilita la comunicación entre los actores de la cadena. Una de las ventajas del modelo es que permite identificar procesos con bajo rendimiento, desconexiones, cuellos de botella e incluso la posible ventaja competitiva de los integrantes de la cadena de suministro (M. E. Porter, 1985) con el apoyo de una serie de métricas estructuradas, facilitando así el uso eficiente de los recursos.

Otro beneficio que aporta el modelo SCOR es la posibilidad de comparar el rendimiento de manera horizontal y vertical entre distintas cadenas de valor y sus integrantes. SCOR integra la medición, la reingeniería de procesos y Benchmarking en un marco común que permite capturar el estado actual “AS-IS” y ofrece una serie de sugerencias para establecer un estado futuro o deseado “TO-BE” basado en los resultados de las mejores prácticas de empresas “Best in class” asociadas al Supply Chain Council y APICS. El marco conceptual general de SCOR puede resumirse en la siguiente figura.

El modelo reconoce cinco grandes procesos como son: Plan, Source, Deliver, Make y Return, los cuales se describen brevemente a continuación:

- *Plan*: Son todos aquellos procesos que requieren de un balance entre la demanda y los recursos necesarios para cumplir con ésta; estos procesos tienen como finalidad establecer y comunicar los planes a desarrollar sobre toda la cadena de suministro.
- *Source*: Son los procesos que permiten la adquisición de bienes o servicios para satisfacer los planes establecidos; básicamente en estos procesos se llevan a cabo actividades como la programación de entregas, recepción de mercancía, su verificación y posterior transferencia.
- *Make*: Son los procesos que transforman bienes en productos finales teniendo en cuenta una programación o política de producción.
- *Deliver*: Se refiere a los procesos que proveen de productos terminados o servicios para satisfacer la demanda real o prevista, en ellos se llevan a cabo actividades que implican el movimiento físico de la carga pero que no se restringen sólo al transporte y distribución, sino a todo aquello que tiene que ver con la gestión de almacenamiento y la administración de la carga.
- *Return*: Se relaciona con todos los procesos que implican una logística inversa o devolución de carga basado en políticas de retorno de mercancía.

Dentro de cada participante de la cadena se pueden identificar los cinco procesos comunes, gobernados siempre por el *Plan*, el cual articula y orienta todas las operaciones de la cadena logística, como se muestra en la Figura 4



*Figura 4 Alcance de Procesos provisto en SCOR*

*Fuente: Supply-Chain Council (2008)*

SCOR utiliza una serie de métricas para medir la eficiencia de los procesos desarrollados en la cadena de valor. Dichas métricas, al igual que los procesos, siguen una estructura jerárquica por niveles: a medida que se desglosa un proceso, en igual medida se despliegan las métricas, y una métrica de un nivel mayor absorbe y agrega el detalle de las contempladas en otros inferiores en un orden jerárquico. SCOR propone 5 dimensiones de métricas: Tiempos, Confiabilidad, Flexibilidad, Costos y Activos; a su vez, cada una de estas dimensiones especifica una serie de métricas. Un resumen de estas métricas de rendimiento se presenta a continuación en la Figura 5. Para mayor detalle, se remite al lector al modelo SCOR versión 9.0 y posteriores.

Level 1 Strategic Metrics	Performance Attributes				
	Customer-Facing			Internal-Facing	
	Reliability	Responsiveness	Agility	Costs	Assets
Perfect Order Fulfillment	✓				
Order Fulfillment Cycle Time		✓			
Upside Supply Chain Flexibility			✓		
Upside Supply Chain Adaptability			✓		
Downside Supply Chain Adaptability			✓		
Supply Chain Management Cost				✓	
Cost of Goods Sold				✓	
Cash-To-Cash Cycle Time					✓
Return on Supply Chain Fixed Assets					✓
Return on Working Capital					✓

*Figura 5: Métricas de SCOR Nivel 1*

*Fuente: Supply-Chain Council (2008)*

La importancia del marco de referencia proporcionado por SCOR, específicamente en la sección de métricas, es que ilustra y discrimina cada uno de los procesos que intervienen en el abastecimiento, producción y despacho de carga, de esta manera se puede tener una mejor visión de los inductores de costos de esta investigación. En la siguiente sección se detallarán los elementos de costos que se emplearán para diseñar la estructura de parametrización de costos.

### 2.2.1 DEFINICIONES OPERACIONALES DE LOS COSTOS

Teniendo en cuenta los procesos generadores de costos propuestos pro SCOR 9.0, y los elementos típicos encontrados en el Departamento de Atlántico, se procederá a definir cada uno de los inductores de costo que se usaran en la estructura de estimación del costo.

**Empaque:** se analiza tanto la preparación como el proceso de empaque; en ambos casos los costos presentan variaciones según tipo de producto, exigencias del mercado de destino, modo de transporte y volumen. Fue importante precisar el tipo de empaque y sus dimensiones, porque esto podía afectar los costos de acuerdo con el modo de transporte.



Los inductores de costo asociados con el empaque son: mano de obra —manual o mecánica—, material, accesorio y marcada.

**Embalaje:** proceso de aglomerar las unidades independientes que provienen del proceso de empaque, en este punto se hacen todos los arreglos necesarios para acondicionar el producto en unidades que faciliten el transporte hasta su destino final en el país importador. El objetivo fundamental de este proceso es contar con unidades en cantidades manejables y fácilmente acomodables en el medio de transporte donde serán transportadas, de tal manera que se pueda identificar y optimizar el espacio. Al final del proceso se deben tener unidades listas para ser estibadas incluso listas para embarcar. Los inductores de costo asociados con el empaque son: mano de obra —manual o mecánica—, materiales para el marcado, marcas principales y secundarias—, símbolos pictóricos y pinturas especiales.

**Unitarización:** es la agrupación de sus respectivos sistemas de empaque y embalaje sobre un pallet o estiba, debidamente asegurado de forma que se puedan manipular, almacenar y transportar como una sola unidad de carga de forma segura. Varias de estas unidades pueden agruparse dentro de un contenedor, remolque o furgón, convirtiéndose éstos en la forma de transporte. Los elementos principales en una unitarización son: pallet o estiba con sus respectivos accesorios, contenedores, “Big Bags”, remolques y semi-remolques. Al final del proceso deben existir unidades listas para el transporte, ya sea en contenedores, planchones u otros.

Los inductores de costos de este proceso son: compra de pallet o estibas, mano de obra para la acomodación en pallets, llenado de contenedor, arriendo o compra del contenedor, materiales para fijar el producto en el transporte y alquiler de equipos.

**Transporte hasta punto de embarque:** es el transporte de mercancías desde la fábrica hasta el punto de embarque. El inductor de costo de este proceso es la tarifa de transporte, o flete. Para el caso de un proceso de importación, es el transporte de mercancías desde el puerto de destino (desembarque) hasta la fábrica, bodegas o instalaciones de la empresa.

**Almacenamiento:** es un punto intermedio en el cual la carga debe esperar un tiempo determinado para pasar a un siguiente proceso; es usual que se presenten justo antes de ser inspeccionadas por las autoridades aduaneras o antes de ser embarcadas. La carga debe ser almacenada de forma ordenada y bajo los parámetros técnicos particulares que exige la mercancía, además se debe asegurar la seguridad e integridad de la carga. Los inductores de costo en este caso son: descarga y acomodación, alquiler de equipos mecánicos, alquiler de bodegas y pérdidas de producto.

**Manipuleo pre-embarque:** es la manipulación de la carga antes del embarque; puede darse en uno o varios puertos, según el destino de carga. Por lo regular, se desarrolla en puntos de transferencia de carga como puertos marítimos, aeropuertos, terminales terrestres

internacionales, estaciones ferroviarias, etc. En estas interfaces se genera un manejo de la carga, ya sea por medios manuales o mecánicos, los cuales pueden o no generar nuevos costos, de acuerdo a cómo se haya contratado el transporte. Existen características particulares de operación, según la terminal en que se realice la manipulación, como se especifica a continuación.

**Manipuleo en puertos marítimos:** cada puerto establece tarifas de acuerdo con los servicios que prestan; se dividen en servicios a la carga (propietario de la mercancía) y a las naves (armador o representante). En cada país la denominación de los servicios es diferente, pero incluye por lo general los siguientes aspectos en cuanto a la carga se refiere:

- Uso de instalaciones portuarias
- Cargue y descargue de vehículos
- Manejos adicionales dentro del terminal (por inspecciones, pesaje, re-empaques etc.)
- Almacenamiento

Manipuleo en el transporte aéreo: caracterizado por los siguientes aspectos.

Por lo general el manejo y cargue al avión están incluidos en el flete aéreo. No obstante, en los terminales aéreos se pueden producir manipulaciones previas a la entrega de la mercancía a la aerolínea, como las siguientes:

- Descargue de vehículos,
- Traslados a zonas de inspección,
- Manipuleo para revisiones de autoridades e inspecciones,
- Empaques y re-empaques.

En términos generales, los inductores de costos de manipuleo pre-embarque son:

- Descarga del vehículo en el lugar de pre-embarque: mano de obra y equipo.
- Costos que se produzcan en el lugar de pre-embarque (puertos, aeropuertos, terminales terrestres, utilización de instalaciones, manejo de carga, vigilancia, etc.)
- Depósito (descargue) en el lugar de pre-embarque (portuario, aeroportuario, ferroviario o terrestre).

Si se usara más de un modo de transporte en el país exportador antes del embarque, se cuantificarán los costos de manipuleo adicional.

**Manipuleo de embarque:** corresponde a manejo que se da a la carga justo antes de ser subida al buque, tracto-camión, tren o avión. En algunas ocasiones dicho manejo es incluido en el flete, como el caso aéreo. Por lo general este manejo se realiza por medio mecánico mediante grúas izadas o cargadores, es posible que se haga de manera manual dependiendo de la naturaleza de la carga, sin embargo es necesario que ésta se encuentre unitarizada. Al final del proceso debe encontrarse la carga perfectamente ubicada en el vehículo para su transporte. Los inductores de costo en este caso son mano de obra y alquiler de equipos.

**Seguros:** es una garantía que se da al asegurado por las pérdidas o daños que sufran los bienes en tránsito. Sin importar el medio de transporte, se asumen riesgos por pérdida parcial o total y por daños que sufra la mercancía. El principal inductor de costo en este caso corresponde a la prima de seguro.

**Bancario:** los bancos juegan un papel fundamental en el proceso de exportación/importación, puesto que son ellos los que muchas veces garantizan la efectividad de los pagos pactados en las negociaciones. Existen básicamente 3 formas de pago entre negociadores:

- Carta de crédito
- Cobranza extranjera o Cobranza bancaria
- Pago de contado.

Los inductores de costos en este caso son las comisiones bancarias que dependerán del modo de pago, las divisas y del banco. Por lo general, la carta de crédito resulta ser más costosa pero representa mayor seguridad para las partes.

**Agentes:** los agentes o intermediarios del proceso logístico internacional pueden intervenir en varios momentos, o en todo el proceso, según las preferencias e infraestructura del importador o exportador y la legislación vigente. Las comisiones de éstos dependerán de la cantidad de trabajo que debe hacer el contratante y de la intervención de este.

El inductor de costo de este concepto corresponde a la comisión cobrada por el agente, la cual incluye: aduanas, agentes carga, inspectores, costos relativos a despacho y documentación; estos últimos pueden variar dependiendo de la operación de comercio exterior.

**Administración:** son los costos incurridos por las empresas en la gestión de una exportación u importación, incluye los gastos ejecutivos, administrativos y operativos, algunas empresas los calculan como el valor de las horas hombres implicadas en la realización del proceso de ComEx.

**Capital:** costo de oportunidad por mantener un dinero o inversión con la que no se cuenta puesto que está en tránsito. Por otra parte, algunas empresas lo calculan en función del valor de los intereses que cobra el banco por prestar el dinero para realizar la compra.

En las fases anteriormente mencionadas, se incluyen todas las tarifas cobradas al generador de carga por las agencias públicas y el sector privado en el proceso de exportación e importación de las mercancías; dentro de ellas se encuentran los costos por documentos, tarifas administrativas para despacho de aduanas y control técnico, honorarios de los

agentes de aduana, gastos por manipulación en el puerto o aeropuerto y transporte de allí a las instalaciones de la empresa.

Dependiendo del termino INCOTERM negociado, el exportador asume los costos incurridos con la exportación de la mercancía hasta que ésta sale del país, y el importador se hace responsable de los costos ocasionados desde el momento en que la mercancía llega al puerto nacional. Es importante resaltar que en estos modelos se miden y tienen en cuenta los costos, tiempos y trámites asociados al proceso de comercio exterior, tanto para el importador como para el exportador.

Una vez analizados los procesos de Importación y Exportación, en relación con las actividades y costos que contienen se encontró que dichos procesos podían verse retratados mejor en los macro-procesos PLAN, SOURCE y DELIVER del modelo SCOR. Esta investigación sólo se ocupa de los procesos de abastecimiento SOURCE y planeación PLAN.

Tabla 1: Costos relacionados con las operaciones de comercio exterior propuestos por SCOR ® 9.0.

MACRO-PROCESO SCOR	INDICADORES DE COSTO ASOCIADOS
<i>Planeación (Plan)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo Laboral de Planear</li> <li>Costo de Automatización de la Planeación</li> <li>Costo de Propiedades, planta y Equipo</li> </ul>
<i>Abastecer (Source)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo laboral de Abastecer</li> <li>Costo de Automatización</li> <li>Costo de Propiedad, Planta y Equipo</li> <li>Costo de Gestión de Inventario y Riesgo <sup>3</sup></li> <li>Costo del Transporte</li> <li>Costo de Tarifas, Impuestos y derechos</li> </ul>
<i>Despacho (Deliver)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo Laboral de gestión de Ordenes</li> <li>Costo de Automatización</li> <li>Costo de Propiedad, Planta y Equipo</li> <li>Costo de Gestión de Inventario y Riesgo</li> <li>Costo del Transporte</li> <li>Costo de Tarifas, Impuestos y derechos</li> </ul>

Encontramos que el macro-proceso SOURCE tiene fuerte asociación al proceso de Importación, así como en forma similar el DELIVER es ligado al proceso de Exportación. De

<sup>3</sup> El concepto de Costo de Gestión de Inventario y Riesgo se considerará como un elemento de costo relacionado a mantener inventarios, y no como costo de pedir. Tenga en cuenta que para SCOR 9.0, mantener inventarios es un concepto de costo relacionado tanto para el proceso SOURCE como para DELIVER.

otra parte, la Tabla 1 esquematiza los procesos a aplicar del modelo SCOR y se compara y mapea con el Modelo de costos con la estructura de la distribución física internacional –DFI– y su forma de medición, para unificar y verificar la compleción del costeo de procesos ComEx y su uso en los constructos SCOR. Los niveles presentados en la tabla corresponden a los niveles propuestos por SCOR 9.0, remitirse al modelo para más información.

## **2.3 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

Esta sección tiene por objetivo hacer un recorrido histórico de los avances de las técnicas consideradas pilares fundamentales en la investigación, ya que el autor se ha basado en ellas para dar solución al problema en cuestión. En la sección 2.3.1 se ilustrarán los conceptos necesarios para comprender la base teórica de la teoría de juegos cooperativos, mientras que la sección 2.3.2, presenta el estado del arte del problema de reabastecimiento conjunto (JRP).

### **2.3.1 TEORÍA DE JUEGOS COOPERATIVOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO**

La teoría de juegos cooperativa o de juegos coalicionales, tiene un desarrollo de más de 60 años, a partir de los trabajos hechos por Neumann, L. J., & Morgenstern, O. (1947) y posteriormente Shapley (1953). La base fundamental de este tipo de juegos consiste en la unión de jugadores que pretenden maximizar sus ganancias a partir de la colusión con otros jugadores. Por tanto, la información se comparte de forma transparente, y los jugadores emplean todo su esfuerzo en sacar provecho de una situación o mercado. Entiéndase por coalición, el grupo de jugadores que han tomado la decisión de asociarse.

La colaboración en la cadena de suministro es una oportunidad importante para reducir costos logísticos, es por ello que es incipiente el desarrollo de modelos colaborativos en la cadena de suministros, desde hace décadas se han formulado esquemas de colaboración vertical como por ejemplo: CFPR, ECR o VMI, donde en general el objetivo consiste en intentar sincronizar la cadena de suministros de forma que se maximice el beneficio para la cadena y no para un eslabón aislado. Sin embargo todos estos modelos resultan ser verticales, ahora bien el caso de integración horizontal: competidor-competidor, o incluso mixtos resultan ser más complejo. En este sentido Bartholdi y Kemahlioğlu-Ziya (2005), demostraron la reducción de costes en la gestión de inventarios, y un mejor nivel de servicio alcanzado a través de un modelo de integración vertical y horizontal, donde un par de empresas originalmente competidoras, coluden con la intención de compartir los costos de reabastecimiento de mercancías, provenientes de un único proveedor. La política resultante consiste en centralizar el inventario y realizar el reabastecimiento según la demanda, compartiendo así el costo de mantener y pedir inventarios.

Otro ejemplo es el provisto por Vellojin, Rios, Hernandez, Arboleda, & Miller (2011), quienes bajo el esquema de juegos ficticios, establecen una estrategia de cooperación, donde

minoristas con un único proveedor comparten inventarios apalancando las utilidades individuales de cada uno de los jugadores, el esquema consiste en que el proveedor distribuye la mercancía necesaria para satisfacer la demanda de cada uno de los puntos de venta, pero entre cada periodo de abastecimiento puede relocalizarse el inventario según la dinámica de la demanda en cada punto.

Además de la reducción de costos, la colaboración en el inventario es útil para reducir el efecto Bullwhip, ya que se reduce la incertidumbre y se ejerce una mejor coordinación proveedor cliente (Disney & Towill, 2003). Granot & Sošić (2003) fueron uno de los primeros autores en reconocer el valor de Shapley como estrategia de asignación de beneficios, en su trabajo aprovechan las características del valor de Shapley y sus axiomas (Shapley, 1953a), como herramienta para optimizar el nivel de inventarios en la cadena de suministro. Otras referencias son Hartman & Dror (2003). A pesar de la utilidad de los axiomas de Shapley, no han tenido la importancia esperada en la literatura, hay pocos trabajos disponibles (Cachon y Netessine, 2004). A nivel empresarial la colaboración presenta barreras que no le permiten desarrollarse como se quisiera, la principal barrera para llevar a cabo estas estrategias es la desconfianza entre las partes, lo que genera un truncamiento en el paso efectivo de información, se destacan también factores como: las políticas abusivas de consignación de mercancía, periodos de pago extensivos, la imposición de riesgos y los procesos de pedidos poco coordinados (Arango Serna et al., 2013).

### 2.3.1.1 EL VALOR DE SHAPLEY

El valor de Shapley (Shapley, 1953a) a través de sus axiomas, posee unas características deseables para esta investigación, ya además cumple con dos requisitos importantes perseguidas por el autor de esta tesis: asegurar soluciones estables y realizar una asignación considerando la contribución de cada jugador para disminuir los costos logísticos totales, de forma que se motive la práctica colaborativa, de esta forma las asignaciones harían justicia al aporte efectivo de cada jugador. Estas consideraciones serán discutidas en la sección 3.5. Seguidamente se presentará el marco conceptual alrededor del trabajo hecho por Shapley.

Para una coalición  $S \subseteq N$ , donde  $N$  es el conjunto de todos los jugadores, existe un valor esperado de los beneficios obtenidos  $v(S)$  producto de formar  $S$ , a esta expresión se le conoce como función característica. La asignación  $\varphi_i$  de un pago para cada jugador debe satisfacer sus propias expectativas. Si por alguna razón un jugador tiene un incentivo (mejorar su situación) para formar una coalición diferente a la propuesta, se espera que abandone la coalición, por lo tanto es deseable una asignación dominante que proporcione estabilidad. Para asegurar esta condición, el vector  $\varphi$  debe pertenecer al núcleo del juego. El núcleo garantiza la condición de estabilidad coalicional. El teorema 1 se presenta para facilitar la comprensión del concepto, que se introduce en el trabajo realizado por Edgeworth

(1881) en un contexto económico, y la investigación de Gillies (1959) como concepto de solución general de juegos de suma no cero, al igual que en el trabajo de Shapley (1967).

**Teorema 1:** Un asignación  $\varphi$  pertenece al núcleo de  $v$  si y solo si.

$$\sum_{i \in N} \varphi_i = v(N) \quad (1)$$

$$\sum_{i \in S} \varphi_i \geq v(S), \forall S \subseteq N \quad (2)$$

La ecuación (1) indica que la suma de todos los pagos  $\varphi_i$  asociados con cada uno de los  $N$  jugadores, debe ser igual al valor del pago de la gran coalición. Mientras que (2) implica que el pago recibido por cada jugador es mayor o igual que el que recibiría actuando solo o en una coalición bajo una asignación de pago diferente. Estas condiciones no siempre se pueden satisfacer, no siempre se puede encontrar un vector dominante  $\varphi$ , de hecho el núcleo del juego podría estar vacío (Bartholdi & Kemahlioglu-Ziya, 2005). Determinar si un juego tiene núcleo no es una tarea fácil, sin embargo, podría verificarse si una configuración de pago pertenece a este, verificando la dominancia de todas las coaliciones (Shapley, 1971). Una forma de asegurar un núcleo estable es calcular la el valor de Shapley (Shapley, 1953), siempre y cuando se cumplan los siguientes axiomas:

- I. **Simetría:** Los nombres de los jugadores no deben desempeñar un papel importante en la asignación de pago, por lo tanto deben ser completamente intercambiable. Si la contribución marginal de cada uno es igual en todas las coaliciones, entonces su recompensa debe ser la misma. Esto es:

$$\Delta_i(S) = \Delta_j(S) \text{ para todo } S \subseteq N, \varphi_i(N, v) = \varphi_j(N, v) \text{ donde } \Delta_i(S) = v(S \cup \{i\}) - v(S) \quad (3)$$

- II. **Eficiencia:** La suma de los valores de los jugadores es igual al valor de la gran coalición:

$$\sum_{i \in N} \varphi_i(N, v) = v(N) \quad (4)$$

- III. **Linealidad:** El axioma establece que la suma de los pagos de un jugador, obtenidos de dos juegos:  $v$ ,  $k$  de un conjunto de jugadores  $N$ , es igual al pago recibido por pertenecer a un conjunto conformado por  $v$  y  $k$ . Esto es:

$$\varphi_i(v + k) = \varphi_i(v) + \varphi_i(k) \quad (5)$$

Considerando estos axiomas, Shapley demostró que hay una fórmula para calcular el valor  $\varphi_i$ .

(6)

$$\sum_{S \subseteq N - \{i\}} \frac{|S|! (|N| - |S| - 1)!}{|N|!} (v(S \cup \{i\}) - v(S))$$

En esta expresión todos  $|N|!$  Los posibles ordenamientos de un jugador para integrar una coalición son igualmente probables, ya que el número de arreglos posibles que pertenecen a  $S$  es  $|S|!$ , mientras tanto el número de arreglos posibles de los jugadores que forman una coalición después de  $i$  es  $(|N| - |S| - 1)!$ , entonces la probabilidad de que integren la coalición  $S$  es  $\frac{|S|!(|N|-|S|-1)!}{|N|!}$ .

Nuestro interés es el valor esperado del pago; Por lo tanto multiplicar cada probabilidad por contribución marginal  $(v(S \cup \{i\}) - v(S))$ .

### 2.3.2 THE JOINT REPLENISHMENT PROBLEM (JRP)

Existen en la literatura reportes de diferentes tipos de modelos de inventarios para múltiples productos (Aksoy & Erenguc, 1988) donde el objetivo es usualmente minimizar el costo total de gestión de inventarios, mientras se satisface la demanda de cada ítem. El costo total está compuesto por dos partes:

- Costo fijo de ordenar: Se refiere al costo de preparar y recibir inventarios, costos de transporte, ajuste de máquinas y equipos, costos bancarios y de representación, honorarios, etc. A su vez este costo se divide en dos: Costo mayor de ordenar y costo menor de ordenar, el primero se refiere al costo incurrido independientemente de la cantidad de ítems incluidos, mientras que el otro depende del número y tipo de producto incluido.
- Costo de mantener: Es el costo relacionado con tener inventario disponible o a la mano, el cual incluye el costo de capital, impuestos, primas de seguro, vigilancia, administración, etc.

El problema común de gestionar el aprovisionamiento de múltiples ítems de forma conjunta, consiste en determinar las cantidades óptimas de productos a ordenar, dado que provienen del mismo proveedor y los productos son empacados de forma distinta. (Goyal, 1974). Este problema es denominado en la literatura como el problema del reabastecimiento conjunto JRP (Por sus siglas en inglés). El JRP ha sido ampliamente estudiado, su primera aparición data de hace desde más de 40 años en los trabajos de Starr & Miller (1962) y Shu (1971), con la idea de que el costo mayor de ordenar podría tener un mejor uso si múltiples ítems son agregados en un pedido. Muchos algoritmos han sido desarrollados para obtener una



solución de buena calidad para el problema, una primera revisión de literatura en este sentido fue presentada por S. K. Goyal & Satir (1989).

Las estrategias para resolver el JRP pueden ser clasificadas en dos: Estrategias directas de grupo (DGS) y estrategias indirectas de grupo (IGS). En la primera los productos se reparten en grupos predeterminados y cada set de productos se reemplaza de forma conjunta con el mismo tiempo de ciclo. La segunda estrategia consiste en reemplazar los ítems en intervalos regulares de tiempo y cada artículo se reemplaza en una cantidad suficiente hasta un múltiplo entero del periodo de reabastecimiento regular. Los grupos bajo IGS son indirectamente formados por los productos que tengan el mismo múltiplo entero del periodo.

### 2.3.2.1 EL JRP CLÁSICO

Los supuestos del JRP clásico son muy parecidos a los del modelo de la cantidad económica de pedido (EOQ) que incluye demanda uniforme y determinística, ausencia de escasez, sin descuentos por cantidad y costos de mantener lineales. La notación regular se presenta a continuación:

$T$	<i>Tiempo entre reabastecimientos sucesivos (años)</i>
$S$	<i>Costo mayor de ordenar (\$ /orden)</i>
$s_i$	<i>Costo menor de ordenar el producto <math>i</math> (\$ /orden)</i>
$h_i$	<i>Costo de mantener en inventario el ítem <math>i</math> (\$ /unit/año)</i>
$D_i$	<i>Demanda del ítem <math>i</math> (unidades/año)</i>
$n$	<i>Número de productos</i>
$i$	<i>1,2,3, ..., <math>n</math>, índice de productos</i>
$Q_i$	<i>Cantidad de pedido del producto <math>i</math></i>
$t_i$	<i>Intervalo entre reabastecimiento del producto <math>i</math></i>
$TC$	<i>Costo total de pedir y mantener inventarios anual (\$ /año)</i>

Bajo el enfoque IGS el tiempo de ciclo para cada producto es un múltiplo entero  $k_i$  del periodo de reabastecimiento  $T$ . Entonces, el ciclo para cualquier producto  $i$  es:

$$T_i = k_i T \quad (7)$$

Y el tamaño de pedido para el producto  $i$  es:

$$Q_i = T_i D_i = T k_i D_i \quad (8)$$

El costo anual de mantener inventarios es:

$$C_h = \sum_{i=1}^n Q_i \frac{h_i}{2} = \frac{T}{2} \sum_{i=1}^n k_i D_i h_i \quad (9)$$

El costo anual de ordenar es:

$$C_o = \frac{S}{T} + \sum_{i=1}^n s_i/k_i T = \left( S + \sum_{i=1}^n s_i/k_i \right) / T \quad (10)$$

En la ecuación (4) los ciclos donde no se incurre en reabastecimiento (p.e.,  $k_i \geq 2, i = 1, \dots, n$ ) incurren en el costo mayor de ordenar  $S$ . (Dagpunar, 1982) . El costo total anual es:

$$TC(T, K) = C_h + C_o = \frac{T}{2} \sum_{i=1}^n k_i D_i h_i + \left( S + \sum_{i=1}^n s_i/k_i \right) / T \quad (11)$$

Donde  $K$  es un conjunto de múltiplos enteros de  $T$ . Las políticas definidas por un ciclo de básico de tiempo y enteros múltiplos de este son conocidas como políticas cíclicas.

Hay dos tipos de políticas cíclicas para el JRP. Sea  $P_c$  el conjunto de políticas cíclicas que pueden ser expresadas como:

$$P_c := \{(T, K): T > 0, K = (k_1, \dots, k_n) \in N^n\} \quad \text{JRPC}$$

Una política cíclica es denominada como: política cíclica estricta  $P_{sc}$  si al menos un producto  $i$  es un múltiplo entero  $k_i = 1$  lo que implica que:  $P_s \subseteq P_{sc}$

$$P_{sc} := \{(T, K): T > 0, K = (k_1, \dots, k_n) \in N^n\} \text{ y } k_i = 1 \text{ para algún } 1 \leq i \leq n \quad \text{JRPSC}$$

Arkin, Joneja, & Roundy (1989) probaron que el JRP es un problema NP-Hard, por lo que no existe un algoritmo en tiempo polinomial que resuelva el JRP.

Para a un grupo fijo de  $K = (k_1, \dots, k_n) \in N^n$ , en caso de que el investigador así lo decida, la solución óptima al problema de optimización es la que sigue:

$$T(K) = \left[ 2 \left( S + \sum_{i=1}^n s_i/k_i \right) / \sum_{i=1}^n k_i D_i h_i \right]^{1/2} \quad (12)$$

Dado que  $T(K)$  es decreciente en  $K = (k_1, \dots, k_n) \in N^n$ . También se demostró que una cota superior al problema está definida por la ecuación (7) (Goyal, 1974)

$$\max(T_{opt}^{sc}, T_{opt}^c) \leq T_{max} = \left[ 2 \left( S + \sum_{i=1}^n s_i \right) / \sum_{i=1}^n D_i h_i \right]^{1/2} \quad (13)$$

Para un  $T > 0$  el problema tiene una solución óptima notada por:

$$\min = TC(T, K) \quad \text{JRPK}$$

Sea notada esta solución por:  $K(T) = (k_1(T), \dots, k_n(T)) \in N^n = \{1, 2, 3, \dots\}$  Goyal (1974) demostró  $K(T)$  debe satisfacer:

$$\sqrt{\frac{2s_i}{h_i D_i k_i(T)(k_i(T) + 1)}} \leq T \leq \sqrt{\frac{2s_i}{h_i D_i k_i(T)(k_i(T) - 1)}} \quad (14)$$

Para una política cíclica estricta, la ecuación anterior entrega la siguiente cota al problema:

$$T_{opt}^{sc} \geq T_{min} = \min \sqrt{\frac{s_i}{h_i D_i}} \quad (15)$$

Por lo tanto la solución óptima del problema JRP para cualquier conjunto de  $T$  y  $k$  debe estar en el intervalo que sigue:

$$\min \sqrt{\frac{s_i}{h_i D_i}} \leq T_{opt}^{sc} \leq \left[ 2 \left( S + \sum_{i=1}^n s_i \right) / \sum_{i=1}^n D_i h_i \right]^{1/2} \quad (16)$$

A partir de este trabajo S. Goyal (1974) desarrolló un algoritmo para encontrar una solución óptima al problema de minimización (5), para cualquier política cíclica estricta, tomando como referencia las cotas encontradas en (10). A partir de estos desarrollos se han venido proponiendo algoritmos y heurísticas que entregan buenos resultados para resolver el JRP, dado que la propuesta de Goyal resulta ser iterativa, e insatisfactoria para problemas con  $n$  grandes. Existen algunos otros desarrollos con base en el JRP que vale la pena mencionar.

### 2.3.2.2 PROCEDIMIENTOS DE SOLUCIÓN AL JRP PROPUESTOS EN LA LITERATURA

E. a. Silver (1976) presentó la primera heurística con resultados eficientes, sin embargo Kaspi & Rosenblatt (1991) encontraron la forma de mejorar dicho procedimiento, generando un algoritmo denominado RAND, basado en encontrar  $m$  valores igualmente separados dentro del periodo de ciclo fundamental  $T$ , dentro del intervalo  $[T_{min}, T_{max}]$ , logrando mejorar

el rendimiento de la heurística base. RAND fue entonces una de las primeras heurísticas enumerativas para resolver el problema. Para  $n = 10, 20$ , y hasta 30 productos,  $m = 10$ , RAND identificó la solución óptima en el 98%, 85% y el 67% de las veces respectivamente, en 4000 generaciones aleatorias para cada  $n$ . En los casos en que no se encontró la solución óptima la heurística estuvo en promedio 0.002% alejado de este.

Existen otros procedimientos heurísticos disponibles en la literatura para resolver el problema (Hariga, 1994; Nilsson, Segerstedt, & van der Sluis, 2007), incluso el mismo Silver, presentó una mejora de su heurística base de 1976 (Nilsson & Silver, 2007), que ofrece resultados del orden de 98 problemas resueltos de forma óptima por cada 100 problemas, para  $n$  entre 5 y 10 productos. En general estos procedimientos entregan soluciones muy buenas para el JRP. La filosofía de funcionamiento de estas heurísticas consiste en dividir el espacio de tiempo expresado en la ecuación (9) en partes iguales, mediante alguna lógica establecida, por ejemplo Silver (1976), asumió que deben existir unos productos que denominaremos; rectores, que debe pedirse en cada periodo de reabastecimiento, mientras que el resto se deben pedir con una frecuencia múltiplo entero de estos. Entonces aquellos productos rectores tienen una gran posibilidad de disminuir costos en cada pedido, mientras que los restantes tienen una oportunidad para hacerlo, el problema está en encontrar dichos múltiplos enteros. Por su parte Nilsson & Segerstedt (2007) proponen una heurística iterativa que entregue mejores resultados que los de Silver (1976), dado que se evalúan muchas combinaciones de periodos de tiempo, hasta encontrar una que minimice el costo total y no sea dominada por alguna otra, por tanto muchas veces el óptimo es encontrado, las limitaciones de estos procedimientos suele ser el tiempo necesario de corrida, en este último caso para instancias grandes las respuestas puede tardar un tiempo importante.

### **2.3.2.3 VARIACIONES DEL MODELO ORIGINAL JRP**

En cuanto a las variaciones del JRP, puede decirse que no ha sido abordado extensivamente, a pesar de su potencial, de hecho las publicaciones inician en 1994 con el trabajo presentado por Ben-Khedher & Yano (1994), quienes resolvieron el problema con restricción de capacidad de transporte para instancias pequeñas mediante el algoritmo de CPLEX®, sin embargo múltiples relajaciones fueron hechas, dada la complejidad algorítmica del problema. En años más recientes otras restricciones fueron incorporadas como por ejemplo capacidad limitada de almacenamiento, presupuesto limitado o restricciones por parte de la capacidad de abastecimiento del proveedor. (Hoque, 2006; Moon & Cha, 2006; Porras & Dekker, 2006).

Así mismo se han presentado enfoques y soluciones para el JRP con variables estocásticas (SJRP), siendo una extensión del problema determinístico, en este sentido se han presentado soluciones para políticas periódicas y continuas de revisión de inventarios (Johansen & Melchior, 2003). La política de mayor reconocimiento en este enfoque, es la denominada política Can-Order, donde se definen tres niveles de alerta de inventario, un

primer nivel donde sólo el ítem que alcanza el nivel es pedido hasta una cantidad que debe calcularse conocida como “tope”. Otro nivel corresponde a mínimo nivel que debe alcanzar un producto para generar un pedido general, el cual incluirá el producto que ha disparado el pedido y todos aquellos que se encuentren entre el nivel uno y este último.

En el presente las soluciones más comunes encontradas en la literatura, para problemas multi-objetivo las proporcionan los algoritmos evolutivos (Khouja, Michalewicz, & Satoskar, 2000), que son una alternativa interesante para problemas donde el número de ítem es considerablemente grande, por lo regular mayor a 30.

#### **2.3.2.4 OPORTUNIDADES Y DESARROLLOS FUTUROS EN LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL JRP**

Durante los últimos 40 años una gran cantidad de artículos han sido publicados en relación al JRP. El principal objetivo de estas publicaciones ha sido la búsqueda de una solución óptima al problema. Muchos enfoques y algoritmos han sido propuestos, los cuales difieren en complejidad tanto conceptual como computacional. No obstante la discusión del JRP sigue abierta, de hecho en años recientes se han publicado heurísticas y algoritmos para resolver el JRP clásico (Nilsson et al., 2007; Nilsson & Silver, 2007) y con restricciones como la cantidad mínima de pedido (Porras & Dekker, 2006), restricción de capacidad de almacenamiento (Vlachos & Tagaras, 2001), modelos que integran restricciones de capacidad y problemas de ruteo (Sindhuchao, Romeijn, Akçali, & Boondiskulchok, 2005) y con producción variable (Bayindir, Birbil, & Frenk, 2006). Las investigaciones del JRP clásico llegaron a su punto de saturación, los nuevos enfoques apuntan a variaciones del problema y la incorporación de múltiples restricciones que le permitan apegarse mejor a la realidad (Khouja & Goyal, 2008). Las relajaciones del problema hechas hasta el momento, son cuestionables, como por ejemplo se asume demanda determinística, lead times iguales a cero, infinita capacidad de transporte o contenedores, etc. Por otra parte, no se han considerado problemas multi-objetivo, que bien podrían atender requerimiento de la industria cuando se presentan situaciones en la que el costo no es el único criterio de decisión. En general las oportunidades se encuentran en torno a llevar el JRP a un plano cercano a los problemas del día a día. A pesar de estas consideraciones el JRP es uno de los problemas de gestión de inventarios que mejor representa las situaciones de inventario, ya que el problema de reabastecimiento de un único producto no es muy frecuente. Todo apunta a un nuevo JRP mucho más útil para los tomadores de decisiones en la industria. El CJRP es entonces un modelo que contribuye al estado del arte.

### CAPÍTULO 3. MODELACIÓN Y DESARROLLO DEL PROBLEMA

El capítulo 3 contiene los desarrollos que dan solución a los objetivos trazados en la investigación. La sección 3.1 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** ilustra los procesos regulares que deben llevarse a cabo en Colombia para realizar una importación, además presenta un resumen del panorama de los costos de importación y exportación típicos del Departamento del Atlántico. La sección 3.2 presenta los desarrollos que dieron lugar a las estructuras de costos del modelo, seguidamente, en la sección 3.3 se presenta el modelo matemático propuesto, en esta misma sección se presentan los supuestos y notaciones empleadas. La sección 3.5 presenta la técnica de asignación de costos propuesta basada en el valor de Shapley, en la misma sección se presenta el mecanismo de integración JRP-Shapley.

#### 3.1 ESTADO ACTUAL DE LOS PROCESOS DE COMERCIO EXTERIOR EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

La presente sección, tiene por objetivo ilustrar los procesos típicos que se llevan a cabo en Colombia para llevar a cabo una importación, en este caso desde la óptica de las empresas generadoras de carga. En esta oportunidad, el análisis se realizó en el Departamento del Atlántico; sin embargo, el proceso debe ser muy parecido en todo el territorio nacional al regirse por una misma regulación. La importancia de esta labor radica en que de esta manera se pueden reconocer procesos generadores de costos, muy importantes para la parametrización del modelo. Por otro lado, entender cada una de estas actividades permite tener una mejor visión acerca de los procesos donde pudieran establecerse práctica colaborativas.

Los resultados aquí expuestos son resultado de las entrevistas realizadas a directivos y funcionarios expertos en el área de comercio exterior, las empresas consideradas fueron: generadoras de cargas, sociedades intermediadoras aduaneras y operadores logísticos. Estas entrevistas permitieron caracterizar los procesos concernientes a importaciones y exportaciones. Luego de entender completamente estos procesos y medir su rendimiento mediante métricas diseñadas para tal fin, se logró caracterizar el estado actual de los procesos de importación en el Departamento del Atlántico. La *Figura 6* refleja el resultado de un proceso de importación típico de la Región, que tiene como característica el uso del Inconterm FOB, tal como considera el modelo logístico provisto en esta investigación (ver sección 1.2.) Cabe resaltar que es posible que se puedan presentar pequeñas diferencias entre empresas, sin embargo el diagrama propuesto cuenta con todos los actores mínimos en el proceso de legalización de carga en una importación. Existen unas negociaciones previas entre un proveedor y un importador que se desarrollan de manera voluntaria, en estas se debe pactar el término de negociación a emplear. Una vez se llega a dicho acuerdo, se debe dar un intercambio de documentos importantes que garantizan la legalidad de la transacción, estos documentos deben aportarse a un tercero denominado Sociedad

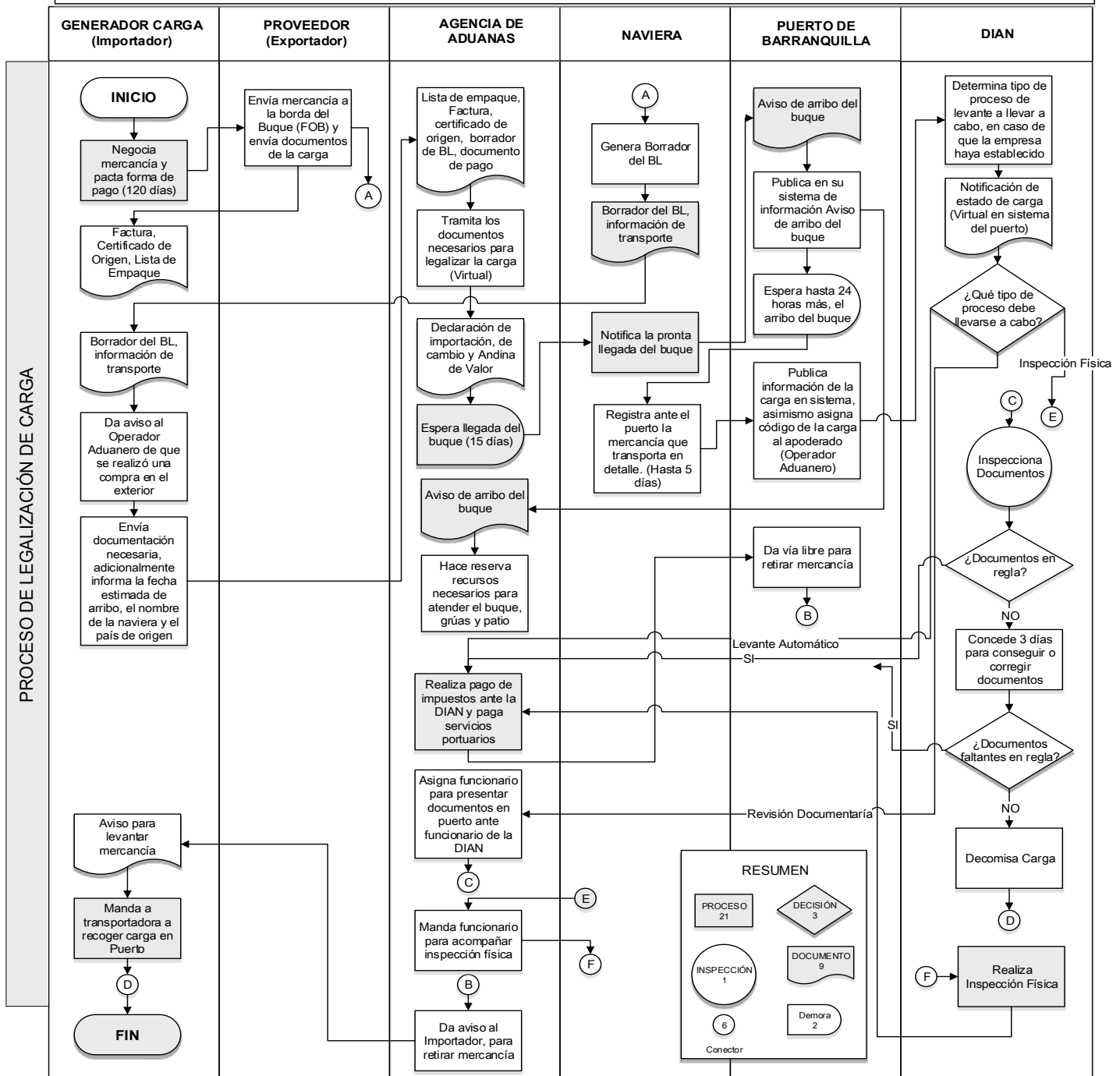
Intermediadora Aduanera (SIA), ya que dada la legislación aduanera colombiana vigente a la fecha de la investigación<sup>4</sup>, una empresa Colombiana debe contratar a una SIA para adelantar la documentación necesaria para realizar un proceso de comercio exterior, a excepción de aquellas empresas que por su frecuencia de importación/exportación y trayectoria tengan la facultad de legalizar su propia carga. Otro actor importante es la naviera empleada y el puerto destino, Puerto de Barranquilla en este caso, quienes deben coordinar la logística de recepción de la carga que se transporta en contenedores, así mismo el puerto es responsable de dar vía libre a la autoridad aduanera de Colombia –DIAN- para que proceda con las verificaciones necesarias que apliquen.

---

4

[Decreto 2685-1999 - Por el cual se modifica la Legislación Aduanera.](#)

[Resolución 4240-2000 - Por la cual se reglamenta el decreto 2685 de diciembre 28 de 1999.](#)



*Figura 6: Descripción de un proceso típico de legalización de carga en Importación en el Departamento del Atlántico.*



En el Proyecto Clúster (Amaya et al., 2017) se desarrollaron múltiples instrumentos para calcular métricas de rendimiento en 3 dimensiones: costos, tiempos y documentación. En esta investigación el costo es de vital importancia, los resultados obtenidos se presentan seguidamente:

*Tabla 2: Resumen de la descomposición del costo de importación (USD).*

Total (T)		Total 1 (T1)		Total 2 (T2)		T2/T1	T2/T
IMPORTACIÓN	\$ 7.171,22	Costo de planeación	\$ 1.146,64	Costo laboral de planear	\$ 696,46	60,7%	9,7%
				Costo de automatización de la planeación	\$ 166,88	14,6%	2,3%
			16,0%	Costo de propiedades, planta y equipos	\$ 283,30	24,7%	4,0%
		Costo de abastecer	\$ 3.959,66	Costo laboral de abastecer	\$ 1.033,02	26,1%	14,4%
				Costo de automatización	\$ 65,06	1,6%	0,9%
			55,2%	Costo de propiedades, planta y equipos	\$ 520,50	13,1%	7,3%
				Costo de gestión de inventario y riesgo	\$ 2.341,07	59,1%	32,6%
		Costo de material en destino	\$ 2.064,91	Costo del transporte	\$ 513,89	24,9%	7,2%
				Costo de tarifas, impuestos y derechos	\$ 1.551,03	75,1%	21,6%

Fuente: (Amaya et al., 2017)

La *Tabla 2* descompone el valor total promedio del costo de Importación para la totalidad de las muestras tomadas (160), el cual se subdivide en 3 elementos: costo de planeación, costo de abastecer y el costo de material en destino; cada uno de estos tiene a su vez una serie de elementos que lo constituyen, los cuales son señalados en la columna 5. El costo de planear se asocia a las actividades preparatorias que tienen lugar antes de ejecutar la importación, son llevadas a cabo entre el cliente y el proveedor, sin embargo la *Tabla 2* muestra los costos referentes al cliente o importador. Estos elementos están constituidos por los valores de la nómina de los empleados implicados en el proceso, el uso de instalaciones, equipos y softwares.

El costo de abastecer está ligado a las actividades que se desarrollan al momento de recibir la carga que se ha importado por parte de la empresa destino, estas actividades implican nuevamente el trabajo de personal, el uso de equipos, instalaciones como bodegas y seguros. Por otra parte el costo de material en destino se encuentra relacionado con las

actividades de transporte y servicios relativos a la carga, como los manipuleos el cargue y descargue. En algunas empresas estas actividades pueden darse de manera simultánea, mientras que en otras resultan ser secuenciales. El detalle de la forma de cálculo se presenta en la sección siguiente, cabe resaltar que estos desarrollos son ampliados en la presente investigación, con la finalidad de adaptarlos al modelo propuesto.

Esta misma tabla, demuestra que el costo de abastecer es el de mayor peso, en gran medida por el impacto que genera el costo de gestión de inventario y riesgo, el cual es además el costo que mayor incidencia sobre el costo total de importación con 32,6%, seguido por el costo de tarifas, impuestos y derechos con 21,6%. Esto evidencia que más del 50% del costo de importación está dado por los costos de gestión de inventario y riesgo, y por los costos de tarifas, impuestos y derechos. Estas cifras son reflejo del impacto importante que trae consigo la tenencia de inventario y su gestión inadecuada, adicionalmente es evidente del alto coste que deben pagar las empresas por concepto de impuestos y trámites de importación en Colombia (21,6%).

*Tabla 3: Resumen de la descomposición del costo de exportación.*

Total (T)		Total 1 (T1)		Total 2 (T2)		T2/T1	T2/T
EXPORTACIÓN	\$ 1.922,80	Costo de planeación	\$ 454,06	Costo laboral de planear	\$ 407,41	89,7%	21,2%
				Costo de automatización de la planeación	\$ 8,88	2,0%	0,5%
			23,6%	Costo de propiedades, planta y equipos	\$ 37,77	8,3%	2,0%
		Costo de cumplimiento	\$ 1.468,74	Costo del transporte	\$ 205,30	14,0%	10,7%
				Costo de tarifas, impuestos y derechos	\$ 463,01	31,5%	24,1%
				Costo de automatización	\$ 17,74	1,2%	0,9%
			76,4%	Costo laboral	\$ 319,81	21,8%	16,6%
				Costo de propiedades, planta y equipos	\$ 34,04	2,3%	1,8%
				Costo de gestión de inventario, riesgo y admón.	\$ 428,84	29,2%	22,3%

Fuente: Amaya et al. (2017)

Con la finalidad de hacer una comparación de los elementos de costos de los proceso de importación y exportación, la *Tabla 3* señala que más de la mitad del costo de exportación es causado por el costo de cumplimiento, mientras que el menor es el costo de planeación. Sin embargo, cuando se analizan los componentes individuales, el de mayor impacto es el costo de tarifas, impuestos y derechos con 24,1%, una vez más los procesos de legalización de carga y tributarios se convierten en el elemento más importante del costo total. El siguiente elemento es el costo de gestión de inventario, riesgo y administración con 22,3%, al parecer

la gestión de inventarios es al igual que en el caso de las importaciones, un elemento que podría mejorarse con una mejor gestión. Seguidamente se encuentra el costo laboral de planear con 21,2%, el cual indica que la mano de obra empleada en estos procesos, resulta ser importante.

Lo anterior evidencia que las tarifas, impuestos y derechos impactan significativamente los costos de las operaciones de comercio exterior de las empresas, con un valor promedio de 22,9%. Otro elemento en común, es el alto impacto que tiene en la estructura el costo de gestión del inventario y el riesgo, evidenciando una gran oportunidad para desarrollar procesos de reingeniería en esta área, considerando que la gestión de inventarios se encuentra bajo el dominio de las empresas, a diferencia de los costos por impuestos que dependen del Estado.

La muestra tomada incluía empresas de diversos sectores: construcción, agroindustria, tecnología, textiles, maquinaria pesada, auto partes, etc. Teniendo en cuenta que en esta investigación se realizó un caso de estudio en la industria de las autopartes (Sección 4.2) se presenta el resumen del resultado de las muestras tomadas en dicho sector, en conjunto con otras industrias que hacen importaciones vía marítima, como la textil y la de maquinaria pesada, la información se resume en la *Tabla 4*.

*Tabla 4: Niveles de clasificación para el Costo (USD) y tiempo (días) de Importación para la industria textil, autopartes, maquinaria pesada y construcción.*

Atributo	Métrica	Deficiente		Promedio		Superior		Excelente	
Costo	Costo de planeación	\$ 5.231,84	\$ 1.741,00	\$ 1.741,00	\$ 449,35	\$ 449,35	\$ 102,45	\$ 102,45	\$ 4,81
	Costo de abastecer)	\$ 18.745,4	\$ 4.987,69	\$ 4.987,69	\$ 1.846,2	\$ 1.846,2	\$ 1.057,9	\$ 1.057,9	\$ 40,83
	Costo del material en destino	\$ 8.444,49	\$ 2.473,85	\$ 2.473,85	\$ 1.354,8	\$ 1.354,8	\$ 706,00	\$ 706,00	\$ 17,31
Tiempo	Tiempo de Operación	100,00	90,00	90,00	48,00	48,00	30,00	30,00	9,00

Fuente: Amaya et al. ( 2017)

La tabla anterior, clasifica en cuartiles los resultados de 34 empresas de las industrias mencionadas, en esta se observa que los costos de abastecer son los de mayor importancia, tal como se observó en el resumen presentado en la *Tabla 2*, seguido por el costo de planeación, donde se encuentra el costo laboral como elemento más importante. En general estos costos presentan un rango de variación considerablemente alto, por ejemplo el costo de abastecer pasa de \$ 40,83 en el cuartil que contiene el 25% superior a \$ 18.745, 4 en 25% inferior, un rango de \$ 18.704,57 con una desviación aproximada de \$ 9.352,2

evidenciando la gran diversidad de casos de la Región. Las empresas de interés para esta investigación son aquellas con costos elevados, por ejemplo las que se encuentran en el cuartil inferior o deficiente y el promedio, puesto que en ellas se espera que existan oportunidades importantes para desarrollar procesos de reingeniería. Con respecto al tiempo de importación, el rango es amplio también: 91 días. Esto evidencia que existen empresas con procesos altamente eficientes, el tiempo considerado inicia con el proceso de cotización de mercancía y finaliza cuando la carga se encuentra disponible en las instalaciones del comprador, se excluye el tiempo de transporte marítimo, ya que depende de la ubicación geográfica del proveedor y no de la gestión de la importación.

Luego de haber realizado el análisis de los parámetros de costos, para cada una de las actividades relacionadas a los procesos de comercio exterior en las empresas que hicieron parte del proyecto Clúster y considerando las apreciaciones de Amaya et al. (2017), se puede concluir lo siguiente:

- A las empresas generadoras de carga les cuesta 6,6 veces más realizar una importación de lo que le cuesta una exportación. Esta situación es un reflejo de la eficiencia de las empresas para realizar una operación u otra, porque al analizar la descomposición de los costos, se pudo notar que el costo de gestión de inventario y riesgo tiene una representación importante en el costo de las importaciones (32,6%). Se confirma que la iniciativa propuesta en esta investigación tiene relevancia, ya que se busca generar una estrategia eficiente de gestión de inventarios.
- Las tarifas, impuestos y derechos les representan a las empresas una quinta parte del costo total de realizar una importación o exportación. Esto es reflejo de las políticas tributarias actuales y sin embargo, no representa ventaja para ninguna de las dos actividades ya que su impacto porcentual es el mismo.
- Realizar una importación toma 2,3 veces más tiempo que realizar una exportación, lo cual deja en mal lugar a las importaciones si se tiene en cuenta que el costo también es más del doble.

### **3.2 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COSTOS DEL MODELO**

En la logística se destacan dos elementos de costos muy importantes a la hora de estimar los costos totales de gestión de inventarios. Estos elementos son: El costo de pedir y el de mantener inventario, el primero se relaciona directamente con las actividades necesarias para solicitar y recibir un pedido por reabastecimiento, mientras que el segundo considera los elementos de costo necesarios para la manutención de la carga (Ballou, 2004).

Sin embargo en la literatura son escasas las estructuras para calcular estos costos, comúnmente los autores indican los inductores de costos relacionados al proceso de pedir y mantener, pero no indican su forma de cálculo; como es el caso de Chopra & Meindl (2013)

quienes referencian los costos de administración, tarifas cobradas por operadores logísticos, gastos de recepción de mercancía, entre otros, como inductores importantes a la hora de calcular el costo de pedir inventario, mientras que los costos por mantener mercancías, implican un costo de oportunidad relacionado con el costo de capital y los gastos operativos incurridos por asegurar la integridad de los mismos, igual ocurre en otras publicaciones relacionadas a la gestión de inventarios (Silver, Pyke, & Peterson, 1998; Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2003). Otra fuente de información importante es la provista en el modelo SCOR (Supply Chain Council, 2010), quienes presentan una diversidad de explicaciones que permiten identificar todos los elementos de costos pedir y mantener inventarios, pero tampoco provén de una estructura de estimación.

En conclusión es reducida la cantidad de información disponible que permita construir la estructura requerida, igual preocupación se presentó en la investigación desarrollada en el Proyecto Clúster (Amaya et al., 2017) es por esto que parte del trabajo de investigación se centró en determinar una estructura robusta y consistente para estimar todos los parámetros de costos requeridos por el modelo. La estructura propuesta se convierte en una contribución al estado del arte, puesto que es inexistente.

### **3.2.1 COSTOS DE PEDIR**

Los costos por solicitar un reaprovisionamiento de inventario se encuentran relacionados con múltiples inductores de costos, asociados a procesos administrativos, utilización de servicios y a la adquisición de insumos o materiales. Clasificar la importancia relativa de estos costos es imprescindible cuando se tiene por interés comparar el rendimiento ya sea nivel empresarial o a nivel de las naciones, aún más cuando se desea desarrollar un proceso de reingeniería. Un referente idóneo, que permite clasificar y comparar diferentes tipos de costos asociados a procesos logísticos es del Doing Business del Banco Mundial (Banco Mundial, 2007b), el cual tiene por objetivo determinar la facilidad para hacer negocios en 189 economías del mundo, evaluando diferentes procesos relacionados con la economía de una nación, por ejemplo la facilidad de apertura de empresas, pago de impuestos, registro de propiedades, etc. El Doing Business proporciona una base de datos que permite comprender, analizar y contrastar información acerca de las normas que regulan la actividad empresarial. Una de las secciones; comercio transfronterizo (Banco Mundial, 2016b) incluye mediciones en términos de tiempos, costos y documentación, como elementos fundamentales para medir el rendimiento de las cadenas de suministro. En esta investigación se hizo uso de los instrumentos y metodologías empleadas por el Doing para llevar a cabo sus mediciones, como punto de partida para los desarrollos necesarios para llevar a cabo el objetivo de desarrollar una estructura de costos comparable y equiparable (Vea sección 1.5.2).

A pesar de que el Doing Business aporta los elementos generales a tener en cuenta para costear los procesos relacionados con una importación, no considera un buen detalle operativo, es por ello que fue necesario tomar como referencia el modelo propuesto por la Supply Chain Council, a través del modelo conocido como SCOR®, puesto que discrimina todas las actividades relacionadas con el proceso de abastecimiento de una compañía, además los relaciona con los eslabones contiguos de la cadena de suministro a la que pertenezca. Este modelo es ampliamente aceptado en la industria. SCOR propone un método de aplicación que puede ser muy extenso, pero bastante riguroso, facilita la comparación y flexibilidad. Además propone una serie de métricas multinivel, empezando desde el nivel operativo hasta el táctico que facilitan la medición de varias variables; tiempo, flexibilidad, costo, confiabilidad. SCOR cuenta con un esquema de modelación genérico útil para entender las relaciones entre los nodos en una cadena de suministro (Supply-Chain Council, 2008).

Basando en Rayburn (1999), se considera en el trabajo que los costos relacionados con los procesos de exportación e importación deben ser analizados teniendo en cuenta la complejidad y la diversidad del proceso, por lo tanto, se incluyen generadores de costos, entendidos como los factores que originan las actividades e influyen en su costo. Las actividades son eventos o transacciones que operan como promotor, inductor o impulsor de costo (García & León, 1999)

Con la finalidad de corroborar y contrastar todos los elementos de costos de los procesos de abastecimiento propuestos por SCOR, y los inherentes a los procesos de importación típicos del Departamento del Atlántico, se compararon con los planteados por la metodología SCOR y los propuestos por Procolombia (2015) en su modelo de Distribución Física Internacional – DI–, estos elementos resultantes se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5: Costos contables resultantes relacionados con el proceso de importación, adaptados del ProColombia 2015 y el modelo SCOR 9.0.

<b><i>COSTOS CONTABLES DE IMPORTACIÓN</i></b>	
<b>CONCEPTO</b>	<b>INDUCTOR COSTO</b>
Manipuleo Descargue / Cargue	Mano de obra Alquiler de equipos (Grúas, montacargas) Servicios adicionales
Almacenamiento	Descarga y acomodación Alquiler de equipos mecánicos Alquiler de bodegas Perdidas de producto
Transporte desde punto de embarque hasta la bodega	Tarifa de transporte Valor póliza de seguro, según Incoterms Comisión bancaria según medio de pago Comisión Aduanas

<b>COSTOS CONTABLES DE IMPORTACIÓN</b>	
Agentes	Comisión Agentes carga Comisión Inspectores Costos relativos a despacho Documentación
Administración	Costo de administración Costo de capital/Inventarios

Se señala que algunos de los costos presentados en la tabla anterior fueron confirmandos a través de entrevistas con sociedades de intermediación aduanera e importadores.

La estructura definitiva propuesta se presenta en la *Tabla 6*. Cada uno de los elementos allí consignados se detalla seguidamente.

*Tabla 6: Estructura de estimación de costos de pedir propuesta*

<b>ESTRUCTURA DE ESTIMACIÓN COSTO DE PEDIR</b>
<b>PLAN</b>
<i>Costo laboral de planear</i>
<i>Costo de automatización de la planeación</i>
<i>Costo de propiedades, planta y equipos</i>
<b>SOURCE</b>
<i>Costo laboral de abastecer</i>
<i>Costo de automatización</i>
<i>Costo de propiedades, planta y equipos</i>
<i>Costo del transporte</i>
<i>Costo de tarifas, impuestos y derechos</i>

### **3.2.1.1 COSTEO DE LOS PROCESOS DE PLANEACIÓN**

De acuerdo con Olarte Fiorillo (2011), durante el proceso de planeación se realiza una evaluación de los recursos disponibles, de acuerdo con el nivel de demanda a cubrir (pedidos de clientes). También se realizan los planes de inventario para materiales, producción y distribución; el plan de producción, entre otros. De una adecuada planeación, depende la ejecución de cada uno de los procesos de la cadena de suministros, motivo por el cual la planeación debe basarse en datos confiables e incluir objetivos con horizontes de tiempo definidos, de manera que en un momento determinado se pueda contar con los recursos necesarios para satisfacer la demanda.

A través de la planeación, los administradores de alto nivel desarrollan e implantan metas y políticas de Largo Plazo. Esos planes estratégicos proporcionan una directiva en la selección de cuáles serán los productos o servicios que se deberán comprar o vender y qué mercados considerar como meta (Rayburn, 1999).

Dentro de los costos examinados en la planeación, tomados de la metodología SCOR, detallamos los inmersos en las siguientes actividades:

- **Actividad Laboral de Planear:** Que se da en virtud al tiempo que se dedica el equipo de trabajo al proceso de planeación de actividades de comercio exterior.

El proceso de planeación de una cadena de suministro trata de responder las preguntas qué, cuándo y cómo; y tiene lugar en tres niveles: estratégica, táctica y operativa. Según Ballou (2004), la **planeación estratégica** se considera de largo alcance cuando el horizonte de tiempo es mayor de un año; ésta trabaja con información muy general, que comúnmente es poco completa e imprecisa. La **planeación táctica** implica un horizonte de tiempo intermedio, por lo general menor de un año. Y la **planeación operativa** es un nivel de toma de decisiones de corto alcance, con decisiones que con frecuencia se toman sobre la base de cada hora o diario; ésta, a diferencia de la estratégica, trabaja con información más precisa de que se disponga en el momento.

Para el desarrollo de la metodología de costos de planeación, nuestra atención se dirigirá a la planeación a nivel táctico, dado que el interés diagnóstico se centra en mejores decisiones del mismo tenor.

Los inductores de costo en este caso son:

- Nómina total de los funcionarios involucrados en el proceso de planeación ( $Vnp$ )
- Tiempo dedicado al proceso de planeación, en lo que respecta a planeación de ventas hacia el exterior y compras de insumos en el extranjero ( $Tp$ )

La expresión (17) representa el costo de planear ( $CP$ ):

$$CP = Vnp * Tp \quad (17)$$

- **Actividad de Automatización de la Planeación:** Aquellas que se originan para apoyar el proceso de planeación con base en el uso de tecnología por el tiempo involucrado en el proceso.

Los inductores de costo en este caso son:

- Amortización anual del ERP o herramientas afines ( $Ar$ )



- Servicio técnico o actualización anual ( $St$ )

Otros inductores a tener en cuenta para determinar el costo:

- Tiempo dedicado al proceso de planeación ( $Tp$ )
- Cantidad total de computadores con licencia ( $Np$ )
- Cantidad total de computadores con licencias involucrados en el proceso ( $Npd$ )

Seguidamente se presenta la expresión (18) la cual permite calcular los costos de automatización de la planeación ( $CPA$ ):

$$CPA = \left( \frac{Ar + St}{Np} \right) * Npd * Tp \quad (18)$$

- **Actividades del uso de la Propiedad, Planta y Equipo:** aquellas que se originan en el uso de la Infraestructura física de la empresa.

Los inductores de costo en este caso son:

- Valor anual de depreciación de planta y equipos usados en el proceso ( $Dep$ )

Otros inductores a tener en cuenta para determinar el costo:

- Tiempo dedicado al proceso de planeación ( $Tp$ )
- Cantidad total de empleados de la empresa ( $Ne$ )
- Cantidad de empleados dedicados al proceso ( $Nep$ )

A continuación se presenta la expresión (19) que permite calcular el costo del uso de propiedades plantas y equipos ( $CEP$ ):

$$CEP = \left( \frac{Dep}{Ne} \right) * Nep * Tp \quad (19)$$

### 3.2.1.2 COSTEO DEL PROCESO DE ABASTECER (SOURCE)

Valencia (2011) clasifica los costos relacionados con el inventario (productos a importar) en tres grupos. El primer grupo se conoce con el nombre de costo de pedido (CP) y hace referencia a los costos asociados con la adquisición del inventario. Como ejemplos de este primer grupo se pueden señalar los siguientes:

- Costos de operar una oficina de compras
- Salarios del departamento de compras

- Servicio telefónico
- Papelería
- Cotizaciones
- Depreciación del equipo de compras
- Costos de transporte

Los anteriores costos los vemos inmersos en cada uno de los costos y actividades inmersas en el proceso de importación y los detallamos en las siguientes actividades:

- **Actividad Laboral de Abastecer:** Que se da en virtud al tiempo que se dedica el equipo de trabajo al proceso de planeación de actividades de abastecimiento.

Los inductores de costo en este caso son:

- Salarios del departamento de Compras y demás involucrados en el proceso de abastecimiento ( $Vna$ ).

Otros inductores a tener en cuenta para determinar el costo:

- Tiempo dedicado al proceso de compra ( $Ta$ )

La ecuación (20) representa el costo de abastecer ( $CA$ ):

$$CA = Vna * Ta \quad (20)$$

- **Actividad de sostenimiento de Automatización del Abastecimiento:** Aquellas que se originan para apoyar el proceso de importación con base en el uso de tecnología por el tiempo involucrado en el proceso.

Los inductores de costo en este caso son:

- Amortización anual del ERP o herramientas afines ( $Ar$ )
- Servicio técnico o actualización anual ( $St$ )

Otros inductores a tener en cuenta para determinar el costo:

- Tiempo dedicado al proceso de planeación
- Cantidad total de computadores con licencia ( $Np$ )
- Cantidad total de computadores con licencias involucrados en el proceso ( $Npd$ )

La siguiente expresión fue empleada para el cálculo del costo de automatización del abastecimiento:

$$= \left( \frac{Ar + St}{Np} \right) * Npd * Ta \quad (21)$$

- **Actividades del uso de la Propiedad, Planta y Equipo:** Aquellas que se originan en el uso de la Infraestructura física de la empresa. Los inductores de costo en este caso son:

- Valor anual de depreciación de planta y equipos usados en el proceso (*Dep*)

Otros inductores a tener en cuenta para determinar el costo:

- Tiempo dedicado al proceso de abastecimiento (*Ta*)
- Cantidad total de empleados de la empresa (*Ne*)
- Cantidad de empleados dedicados al proceso (*Nea*)

El costo total del uso de equipos y planta en el proceso de abastecimiento (*CEA*) es el que sigue:

$$CEA = \left( \frac{Dep}{Ne} \right) * Nea * Ta \quad (22)$$

#### ▪ **Costo de transporte**

Este costo está relacionado con las tarifas cobradas por los operadores logísticos o transportadoras. Los rubros incluidos no se restringen al flete de transporte, sino también a los servicios relacionados al transporte, como:

- Embalaje
- Unitarización
- Cargue
- Descargue
- Desagregación
- Flete marítimo
- Flete terrestre

Es importante aclarar que este concepto se divide en dos: Costos de transporte en origen y en destino. En el origen aplica el embalaje, unitarización, cargue y flete marítimo, usualmente cobrados en una sola factura por el operador logístico empleado. Por otra parte en destino aplica el costo de descargue, desagregación y el flete terrestres hasta el destino final. El Inductor de costos en este caso corresponde a la tarifa del transportador por viaje. Para los casos donde se usen los Incoterms que garantice la responsabilidad y costo de la carga hasta el punto de consolidación, como el FOB, el costo es de cero, pues no existe transporte a cargo del comprador.

- **Costo de tarifas Impuestos y derechos**

Corresponde a las tarifas relacionadas con la manipulación post embargo o de manipulación en puerto, y cualquier tarifa pagada a un tercero que preste servicios a la carga. Dentro de esta categoría se encuentra el valor del flete marítimo, tarifa de las sociedades intermediadoras aduaneras y los ilustrados en la sección 2.2.1.

### 3.2.2 COSTOS DE MANTENER

Se incurre en un costo de mantenimiento de inventarios o Holding cost (por su traducción al inglés) sólo con dar entrada a una familia de ítems al interior de una bodega. El costo de mantener se puede dividir en dos elementos: Costos financieros relacionados con el costo de oportunidad por tener un dinero invertido en stock y el costo operativo por asegurar la integridad del inventario (Sunil Chopra & Meindl, 2013). La **Tabla 7** resume la estructura propuesta para estimar el costo de mantener, los elementos consignados en ella se discuten seguidamente

*Tabla 7: Estructura de estimación de costos de mantener propuesta*

<b>ESTRUCTURA DE ESTIMACIÓN COSTO DE MANTENER</b>
<i>Costo Capital</i>
<i>Costo obsolescencia</i>
<i>Costo del riesgo</i>
<i>Costo ocupación</i>
<i>Costo de gestión de inventario y varios</i>

#### 3.2.2.1 COSTO DE CAPITAL

Este concepto corresponde usualmente al componente dominante del costo de mantener. El método sugerido en la literatura consiste en evaluar el costo promedio ponderado del capital (WACC, del inglés weighted average cost of capital). El cual toma en consideración la tasa requerida de rendimiento del capital de la compañía y el costo de su deuda. (Ballou, 2004; Sunil Chopra & Meindl, 2013). La fórmula propuesta es la siguiente:

$$WACC = \frac{E}{D + E} (R_f + \beta * MRP) + \frac{D}{D + E} R_b (1 - t) \quad (23)$$

Donde:

*E*            Cantidad de capital  
*D*            Cantidad de Deuda

$R_f$	<i>Tasa de rendimiento libre de riesgo</i>
$\beta$	<i>Beta o riesgo de la compañía</i>
$MRP$	<i>Prima de riesgo de mercado</i>
$R_b$	<i>Tasa a la que la empresa pide dinero prestado</i>
$t$	<i>Tasa impositiva</i>

El WACC usualmente se encuentra disponible en el informe anual de la compañía, o en informes de investigación de capital. La tasa de préstamo proviene de tablas que contiene las tasas que se cobran por bonos de compañías con las mismas calificaciones de crédito. La tasa libre de riesgo es el rendimiento de los certificados de gobierno, y la prima de riesgo de mercado es el rendimiento del mercado por encima de la tasa libre de riesgo, si el acceso a la estructura financiera de la compañía no es posible, una buena aproximación se logra al emplear las cifras de compañías públicas de la misma industria y de tamaño similar.

### 3.2.2.2 COSTO DE OBSOLESCENCIA O DETERIORO

Este concepto está relacionado con la tasa en que el valor en libros del producto almacenado disminuye, debido a que el valor de mercado o calidad disminuyen. Algunos productos por su naturaleza tienen una mayor tasa de obsolescencia, por ejemplo adornos de navideños; quienes alcanzan un mayor precio cerca de la temporada navideña, pero que bajan su valor una vez esta pasa, otro ejemplo son los perecederos, pero así mismo existen productos con tasa de obsolescencia muy baja como el petróleo. Se estima como el valor de las pérdidas de inventarios por merma o deterioro anual.

### 3.2.2.3 COSTO DEL RIESGO

Aquellos que se originan con la finalidad de mantener seguro el inventario. De acuerdo a lo planteado por Valencia (2011), el control y la administración de los inventarios comprenden la manipulación, seguridad y el almacenamiento de las mercancías, en este caso se hará uso sólo de aquellos costos relacionados con la seguridad

Los inductores de costo en este caso son:

- Seguro Todo Riesgo de la empresa ( $St$ )
- Nómina de vigilancia ( $Nv$ )
- Otros Gastos de Seguridad ( $Ot$ )

Otros inductores a tener en cuenta para determinar el costo:

- Área total de la empresa ( $Ae$ )
- Área destinada a los inventarios ( $Ai$ )

El costo total del riesgo (CR) está dado por la siguiente expresión:

$$= \frac{St + Nv + Ot}{Ae} Ai \quad (24)$$

#### 3.2.2.4 COSTO DE GESTIÓN DE INVENTARIOS Y VARIOS

Este concepto se relaciona con el valor de la nómina de las personas que tiene como labor gestionar el inventario, tales como auxiliares de bodega, coordinadores, etc. Así mismo se tiene en cuenta el costo del alquiler o depreciación de equipos relacionados con esta gestión y los materiales que puedan requerirse para dar un mejor manejo.

Los inductores son por tanto los que siguen:

- Nómina personal en bodega o de gestión ( $Na$ )
- Alquiler de equipos ( $Al$ )
- Costo de materiales ( $Cm$ ): pallets, cintas, cuerdas, etc.

$$= Na + Al + Cm \quad (25)$$

#### 3.2.2.5 COSTO DE OCUPACIÓN

Corresponde al costo por alquiler de bodegas o áreas destinadas para el almacenamiento de la mercancía. En caso de que las bodegas sean propias deben considerarse el valor del alquiler de bodegas de similar característica a modo de costo de oportunidad. El inductor es área destinada a bodega.

#### 3.2.2.6 FRACCIÓN “h”

El costo por mantener inventario se representa con “h”, el cual se puede representar de dos formas: como una fracción del costo unitario, o como el costo unitario de mantener inventario en unidades \$/unidad/año. En cualquier caso se calcula considerando el costo por obsolescencia, costo de capital y los otros elementos detallados en la *Tabla 7*. El valor  $h$  se considerado en esta investigación corresponde al costo unitario por mantenimiento anual, ya que el modelo de inventario no considera el costo de las unidades, este se calcula mediante la división del costo total anual por mantener inventarios ( $Cmant$ ) entre la demanda real anual ( $D$ ).

$$h = \frac{Cmant}{D} \quad (26)$$

### **3.2.3 ANOTACIONES SOBRE LA VALIDACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE COSTOS DISEÑADA**

La estructura desarrollada tiene por objetivo estimar costos desconocidos y a un nivel de detalle alto, proporciona información útil y fiel a la realidad., ya que no existe un reporte en la literatura que proporcione una estructura para pedir y mantener costos que incluya los inductores de costos detallados y su forma de estimación. Se logró validar que cada uno de los inductores de costos considerados obedece a la naturaleza de los procesos de comercio exterior llevados a cabo. No se encuentra disponible un patrón de comparación para validar los resultados obtenidos mediante su utilización, por lo que la validación se hizo mediante entrevistas con expertos en empresas intermediadoras aduaneras (5) y de empresas generadoras de carga (5), estos expertos hicieron anotaciones y sugerencias que permitieron perfeccionar la estructura y su forma de cálculo.

Se reconoce que la información tiene algún grado de imprecisión debido a la naturaleza estimativa de los datos; la subjetividad aportada en ocasiones por los encuestados, sin embargo como garantía de validez se mantuvo la rigurosidad en la aplicación. El proceso de aplicación fue estándar y aplicado por el autor principal.

Los resultados no son equiparables con las metodologías base teniendo en cuenta que en este caso las estimaciones se hicieron muy cerca a los procesos e in situ, en empresas pequeñas, medianas y grandes. En este sentido el autor se apoyan en la estrategia empleada por el Doing Business y LPI desde los 90's (Banco Mundial, 2007a, 2007b). El Banco Mundial contrata entidades no gubernamentales de reconocida trayectoria, como garantía de transparencia y evitar todo sesgo. Al igual que en el caso de esta investigación los resultados son supervisados por una serie de expertos, quienes hacen parte del proceso de diseño mediante sus anotaciones. Al igual el Doing Business y LPI se sustentan en supuestos como la transparencia de los encuestados, a sabiendas de su idoneidad, el criterio de expertos y empresarios de trayectoria como información veraz (World Bank, 2007, 2008) .

### **3.3 DISEÑO DEL MODELO MATEMÁTICO DEL CJRP**

El modelo logístico propuesto en esta investigación (sección 1.2) y esquematizado en la *Figura 2*, es en esencia el JRP llevado a instancias tangibles, sin embargo existe una diferencia importante entre lo que este modelo representa y lo que hace el CJRP, el primero fue diseñado para resolver el problema de reemplazar de forma conjunta, cargas provenientes de un único cliente hacia un proveedor, mientras que el segundo tiene sentido cuando existen múltiples proveedores y dueños de carga, sin embargo en ambos casos existe un único punto de consolidación, desde donde se envía la carga hacia un único destino, por lo que en términos prácticos, al resolver el JRP se resuelve también el CJRP, ahora bien este último en términos matemáticos difiere del primero, por ejemplo al considerar restricciones y demanda estocástica. A lo largo de esta sección se presentaran los desarrollos que permiten la modelación del CJRP.

Khouja & Goyal (2008) indican que las investigaciones en la línea del JRP han pasado el punto de saturación, y ha llegado el momento en que las investigaciones se concentren en el desarrollo de modelos aplicables a los problemas de inventario de la vida real. El JRP clásico tiene fuertes supuestos, muchos de ellos poco reales, por ejemplo una capacidad ilimitada de transporte, almacén e inversiones. En la literatura se presentan algunos esfuerzos por hacer el modelo más aplicable. Goyal (1975) fue el primero en introducir un modelo con restricciones; pues en su trabajo restringió la cantidad de dinero invertida en inventario. Silver (1976) mencionó haber trabajado una aplicación del JRP en la industria automotriz, considerando la capacidad de almacenamiento y la cantidad de presupuesto, sin embargo los resultados no se encuentran disponibles en la literatura. Khouja et al. (2000) hace referencia a la importancia de considerar restricciones de capital, inversiones en inventario y capacidad de almacenamiento, pero su modelo no considera ninguna restricción. Moon & Cha (2006) desarrollaron una extensión del JRP restringido, además demostraron la alta eficiencia de los algoritmos genéticos como solución al problema. Hoque (2006) reportó un modelo que considera 3 restricciones: capacidad de transporte, almacenamiento y capital. En este artículo Hoque demostró que la expresión frecuentemente usada para calcular la cota inferior y superior al problema es inadecuada y desarrolla una forma alternativa.

En esta investigación se consideraron dos restricciones: capacidad de almacenamiento y de transporte, además se consideró una demanda estocástica, pero normalmente distribuida, considerando las razones provistas por Eynan & Kropp (1998) y Edward A Silver et al. (1998), quienes aseguran que por el Teorema del Límite Central (Rosenblatt, 1956) la mayoría de las distribuciones que describen la demanda pueden ser aproximadas a la Distribución Normal cuando el número de datos es importante, además en la práctica la demanda de muchos productos demuestra estar normalmente distribuida. Otra consideración es la regularidad en la forma de la carga, lo que permite sacar un mejor provecho del espacio en contenedores; las cargas sobredimensionadas, especiales o irregulares implican un mayor costo por manejo y espacio de bodega. En este caso se espera sacar provecho de las economías de escala que pueden explotarse al hacer uso de medios de transporte como el marítimo, el cual es reconocido por su bajo costo en relación al volumen (Ballou, 2004). Los supuestos considerados se presentan a continuación:

**Supuestos:**

1. El tiempo de transporte hasta el Puerto de destino es insignificante en comparación con el lead time.
2. No se permite escasez
3. No hay descuentos por cantidad
4. La demanda esta normalmente distribuida
5. La demanda se distribuye independiente en relación con el tiempo
6. La capacidad de almacenamiento es limitada
7. La capacidad de transporte es limitada
8. La carga es compatible entre si



## 9. El cubicaje en contenedor se hace de la forma más eficiente

Las notaciones empleadas en el modelo son las que siguen:

$$i = \{1, 2, 3, \dots, n\}$$

$TC$  Costo total anual, incluyendo costo de pedir, mantener y transportar

$n$  Número de familias de productos

$D_i$  Demanda anual del ítem o familia de producto  $i$  (und/año)

$S$  Costo mayor de ordenar (\$/orden)

$s_i$  Costo menor de ordenar del ítem o familia de producto  $i$  (\$/orden)

$T$  Ciclo básico de tiempo o tiempo entre dos reabastecimientos consecutivos

$h_i$  Holding cost para el ítem  $i$  (\$/unidad/año)

$k_i$  Entero positivo múltiplo de  $T$  para el ítem  $i$

$A$  Costo de transporte (\$ / contenedor)

$W$  Capacidad máxima de transporte por contenedor (mts<sup>3</sup>)

$w_i$  Volumen unitario del ítem  $i$  (mts<sup>3</sup>)

$H$  Capacidad máxima de almacenamiento conjunta (mts<sup>3</sup>)

$Z_{\alpha i}$  Valor de la normal estandarizada para el nivel de significancia  $\alpha$ , del ítem  $i$

$Lt_i$  Lead time de la familia de productos  $i$

Las familias de productos son aquellas compuestas por productos con similares características de volumen y demanda. Es importante discriminar los conceptos de costo considerados en el modelo. Para este modelo el costo de pedir se dividió en dos: Costo mayor de pedir y Costo menor de pedir.

**Costo mayor de pedir (S):** Son todos aquellos que no depende del número de productos incluidos en una orden, tampoco del número de contenedores, es decir todos aquellos costos fijos por pedido, regularmente cargados por operadores logísticos, por servicios como la preparación de documentos, preparación de carga, almacenamiento, etc. Según la estructura de costos propuesta estos corresponden a aquellos elementos que pueden compartirse. La estructura de costos mayores de pedir o compartidos se ilustra en *Tabla 8*. Los elementos de esta estructura fueron descritos en la sección 3.2.1. El elemento identificado como el costo de impuestos tarifas y derechos se ha dividido en dos: *Administración, representación de la carga y otros derechos* y el elemento *Representación, documentación y legalización*. El primero tiene lugar en el origen, y es cobrado por el operador logístico por dar manejo a la carga independientemente del volumen, mientras que el segundo es cobrado en el destino por una sociedad intermediadora aduanera.

Tabla 8: Costos compartidos o mayores de pedir

<b>COSTO COMPARTIDO-COSTO MAYOR DE PEDIR</b>
<b>Costo de tarifas, impuestos y derechos</b>
<i>Alquiler de bodegas</i>
<i>Manipuleo pre embarque</i>
<i>Manipuleo embarque</i>
<i>Administración, representación de la carga y otros derechos</i>
<i>Representación, documentación y legalización (Destino)</i>

**Costo menor de pedir ( $s_i$ )** : Son los costos en que se incurre al incluir un ítem en particular en la orden de abastecimiento grupal, por tanto dependen del tipo de ítem incluido en un pedido, puede considerarse también como un costo independiente, ya que no necesariamente se carga en todos los envíos. En este caso están relacionados con los costos incurridos en esfuerzos adicionales por incluir un ítem a un pedido, por ejemplo el costo de coordinación, el cual es un elemento que no se puede despreciar, ya que genera tiempo y costo. Según la estructura propuesta los elementos considerados son: costo laboral de planear, costo de automatización de la planeación, costo de propiedades, planta y equipos, costo laboral de abastecer, costo de la automatización (por abastecer).

Tabla 9: Costos menores o independientes de pedir

<b>COSTO INDEPENDIENTE -COSTO MENOR</b>
<b>PLAN</b>
<i>Costo laboral de planear</i>
<i>Costo de automatización de la planeación</i>
<i>Costo de propiedades, planta y equipos</i>
<b>SOURCE</b>
<i>Costo laboral de abastecer</i>
<i>Costo de automatización</i>
<i>Costo de propiedades, planta y equipos</i>

### **Costo de transporte (A)**

Este elemento ya sido presentado en la sección 3.2.1, sin embargo se resume en la *Tabla 10*.

Cabe destacar que en algunos casos el proveedor de servicios logísticos no discrimina cada uno de los elementos descritos aquí, en estos casos el costo de transporte corresponde al valor facturado.

Tabla 10: Resumen de los costos de transporte

<b>COSTO DE TRANSPORTE</b>
<i>Embalaje</i>
<i>Unitarización</i>
<i>Cargue</i>
<i>Descargue</i>
<i>Desagregación</i>
<i>Flete marítimo</i>
<i>Flete terrestre</i>

### **Costo de mantener o Holding Cost ( $h_i$ )**

Este elemento ya ha sido discutido en la sección 3.2.2, sin embargo se resume en la *Tabla 11*, es importante recordar que este costo se considera mediante la el parámetro “h”, calculado con la expresión (30).

Tabla 11: Resumen de los elementos del costo de mantener o holding cost

<b>COSTO DE MANTENER</b>
<i>Costo Capital</i>
<i>Costo obsolescencia</i>
<i>Costo del riesgo</i>
<i>Costo ocupación</i>
<i>Costo de gestión de inventario y varios</i>

### **Estrategia de Solución**

Es importante definir la estrategia de solución que se usará, puesto que la función objetivo podría variar. En la literatura se reportan dos estrategias de solución al JRP (Khouja & Goyal, 2008). La primera es conocida como *Estrategia de agrupación directa (DGS)* y *la estrategia de agrupación indirecta (IGS)*. En la primera los productos son asignados a un grupo predeterminado, los productos dentro de un grupo son reemplazados de forma conjunta con el mismo ciclo de tiempo. Mientras que el segundo caso (IGS), consiste en determinar un tiempo de ciclo básico común en el cual los productos son reemplazados en una cantidad suficiente hasta el próximo entero múltiplo del ciclo básico común. Los ítems con el mismo entero múltiplo son reemplazados de forma conjunta. En este sentido los grupos son formados de forma indirecta. Eijls, Heuts, & Kleijnen (1992) aciertan en que IGS contiene a DGS, además los supera, puesto que un mayor número de ítems podrían ser reemplazados por cada costo mayor de pedir.

En esta investigación se optó por usar la estrategia IGS, puesto que forma indirecta incluye la DGS y la supera (Eijls et al., 1992) , el modelo se presenta seguidamente:

## Función Objetivo

Minimizar:  $TC(T, k_1, k_2, \dots, k_n)$

$$= \left( S + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{k_i} \right) / T + \frac{T}{2} \sum_{i=1}^n D_i k_i h_i + \sum_{i=1}^n \left( \frac{w_i D_i A}{W} \right) + \sum_{i=1}^n Z_{\infty} \sigma_i h_i (\sqrt{L t_i + T k_i}) \quad (27)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n D_i k_i w_i T \leq H \quad (28)$$

$$T, k_1, k_2, \dots, k_n \geq 0$$

La expresión (28) es concerniente a la restricción de capacidad de almacenamiento. La función objetivo (27) depende las variables  $T$  y  $k_i$ , esta expresión se divide en tres componentes:

La primera (29) hace referencia a los costos anuales de ordenar:

$$\frac{S}{T} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{k_i T} = \left( S + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{k_i} \right) / T \quad (29)$$

Los costos anuales por mantener inventario son:

$$= \frac{T}{2} \sum_{i=1}^n D_i k_i h_i + \sum_{i=1}^n Z_{\infty} \sigma_i h_i (\sqrt{L t_i + T k_i}) \quad (30)$$

Los costos anuales de transportar son:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{w_i D_i k_i T A}{W k_i T} \right) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{w_i D_i A}{W} \right) \quad (31)$$

La expresión (31) demuestra que los costos de transporte son independientes del ciclo básico de tiempo  $T$ .

### 3.4 ESTRATEGIA DE SOLUCIÓN AL CJRP

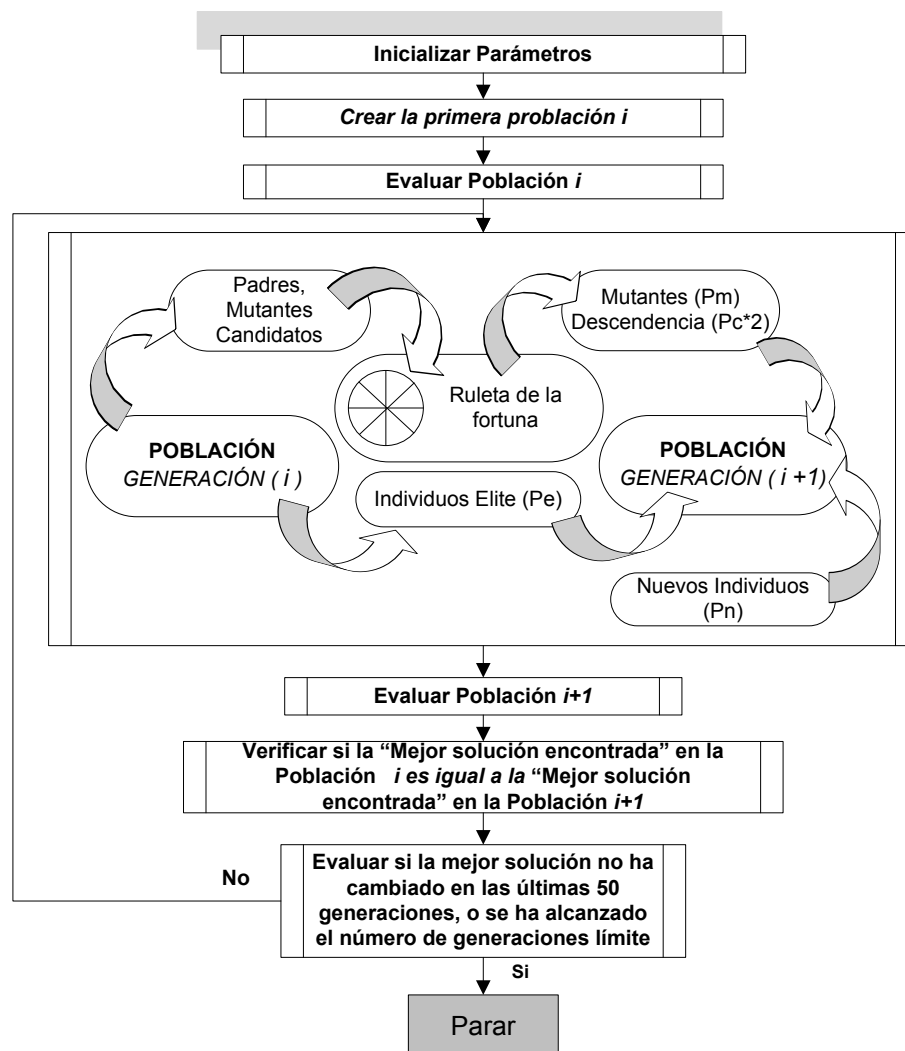
En términos computacionales el JRP no tiene solución mediante algoritmos en tiempos polinómicos. Arkin, Joneja, & Roundy (1989) demostraron que el JRP es un problema NP-Hard, por lo que es necesario un procedimiento eficiente para su solución. Algunos algoritmos y heurísticas entregan buenas soluciones en tiempos computacionales aceptables (Goyal & A, 1979; Kaspi & Rosenblatt, 1983; Kaspi & Rosenblatt, 1985; Kaspi & Rosenblatt, 1991; Lee & Yao, 2003; Nilsson & Silver, 2007; Silver, 1976) Sin embargo los algoritmos genéticos (AG) fueron seleccionados por varias razones.

1. Los AG ofrecen soluciones eficientes al problema. En una prueba hecha por (Khouja et al., 2000), La heurística más conocida para resolver el JRP, denominada - RAND- logró soluciones óptimas para ~ 83% de los problemas en una muestra de 1.600, generados aleatoriamente ( $n = 10,20,30,50$ ). Por otro lado los AG lograron el mismo costo total que RAND en 761 de los problemas (63%), fue mejor en 6 problemas y quedó rezagado en 433 problemas. En ellos, el máximo ahorro porcentual en el costo total proporcionado por RAND fue 0,078% (\$ 7,8 USD por cada \$ 10.000 USD), y el promedio de ahorro porcentual fue de 0,010% (\$ 1 USD por cada \$ 10.000 USD). Para los seis problemas en los que los AG superaron a RAND, la mejora promedio fue de 0,012%.
2. Fácil de implementar, cerca de 200 líneas de código. Además converge a una buena solución muy rápido para  $n = 10,20,30,50$  no son necesarias más de 50 generaciones y tamaños de población de 100 (Khouja et al., 2000; Moon & Cha, 2006).
3. Una muy buena alternativa para JRP con restricciones, como es el caso de este trabajo. Moon & Cha (2006) resolvieron el JRP restringido, para lo cual diseñaron una versión extendida de RAND, y lo denominaron C-RAND. Luego compararon el rendimiento con los AG ( $n = 10,20,30,50$ ), llegando a la conclusión de que los AG pueden obtener muy buenas soluciones en un tiempo computacional muy corto. En promedio C-RAND supera los AG en 0,0294%, lo que representa una desviación muy baja del óptimo. Los AG son especialmente útiles por su capacidad de extensión. Son fáciles de modificar para considerar restricciones, además si el tiempo computacional no es un problema, se pueden lograr mejores respuestas incluso superando a RAND.

#### 3.4.1 ESTRUCTURA DEL PROCEDIMIENTO DE SOLUCIÓN

Los algoritmos genéticos se inspiran en la teoría darwiniana de la supervivencia y el comportamiento evolutivo de las poblaciones; esta técnica es parte de la conocida computación evolutiva (CE). El proceso convencional se inicia con un grupo de soluciones generadas de forma aleatoria llamada "población", cada uno de los elementos en esta se

denominan cromosomas. Como en un proceso evolutivo los individuos mejor posicionados tienen la posibilidad de transferir sus genes a la siguiente generación con mayor facilidad. Estos "mejores individuos" se clasifican de acuerdo a una medida de "Fitness". Los cromosomas que ofrecen buenas soluciones de acuerdo con uno o más objetivos tienen una mejor medida de fitness. Existen dos formas de transferir genes a las generaciones siguientes: por cruzamiento y por mutación. Estos se explicaran posteriormente. La estrategia de solución se compone de tres pasos: (I) Representación del cromosoma, (II) la evaluación de la función objetivo y fitness, y (III) la creación de nuevas poblaciones: cruzamiento y mutación. La estructura del algoritmo empleado se resume en la *Figura 7*, este procedimiento solución permite encontrar soluciones muy eficientes al JRP con restricciones, dada su estructura, el diseño del cromosoma y la lógica de mutación y cruzamiento puede ser considerado como una *heurística*.



*Figura 7: Procedimiento heurístico de solución propuesto al CJRP*

El procedimiento heurístico regular de un algoritmo genético no garantiza que los mejores individuos (élite) permanezcan en la población generación tras generación. No obstante, en esta implementación se aplicó un enfoque elitista con el fin de mejorar la convergencia, lo que garantiza la permanencia de la élite y probablemente sus descendientes en cada generación. Los individuos élite se renuevan sólo si aparecieran individuos mejor calificados por la función fitness. El criterio de parada se fijó en dos condiciones: parar el proceso si la mejor solución encontrada no ha cambiado en las últimas 50 generaciones, o se ha alcanzado un número límite de generaciones.

### 3.4.1.1 POBLACIONES INICIALES Y REPRESENTACIÓN DEL CROMOSOMA

Una consideración importante antes de generar el algoritmo es el diseño de la representación de una solución (cromosoma formado por varios genes). Es deseable que las soluciones sean siempre factibles; Sin embargo, esto no siempre es posible. En este trabajo se utilizó la técnica propuesta por Moon & Cha (2006) para asegurar la factibilidad. El cromosoma es un vector de  $n$  posiciones, cada uno de ellos está representado por un número aleatorio  $\sim [0,1]$ . Cada posición representa un producto  $i$ , el número aleatorio en la posición  $i$  se puede decodificar a un número entero, y este número es una asignación aleatoria del parámetro  $k_i$  (que se explica en la sección 3.3). Para decodificar cada posición  $i$  en un cromosoma aplicamos la siguiente expresión (32).

$$k_i = k_i^{LB} + \lfloor (k_i^{UB} - k_i^{LB} + 1) * Gen(i) \rfloor \quad (32)$$

Para el cálculo de la cota inferior ( $k_i^{LB}$ ) de  $k_i$  y la cota superior ( $k_i^{UB}$ ) se hizo uso del procedimiento propuesto por Khouja et al. (2000). Se utilizó:  $k_i^{LB} = 1$ ,  $k_i^{UB} = \lceil T_i^{IN} / T_{min} \rceil$ , donde:

$$T_i^{IN} = \sqrt{2(S + s_i) / h_i k_i \left( D_i + \frac{Z_\infty \sigma_i}{\sqrt{L t_i + T_0}} \right)} \quad (33)$$

$$T_0 = \sqrt{2(S + s_i) / h_i D_i} \quad (34)$$

corresponde al tiempo de ciclo óptimo para cada producto de forma individual, obtenido a partir del modelo propuesto por Eynan & Kropp (1998) . Por otra parte, los mismos autores proponen el valor de  $T_{min}$  como:

$$T_{min} = \sqrt{2s_i / h_i \left( D_i + \frac{Z_\infty \sigma_i}{\sqrt{L t_i + T_0}} \right)} \quad (35)$$

Donde:

$$T_0 = \sqrt{2 \left( S + \frac{S_i}{k_i} \right) / h_i k_i D_i} \quad (36)$$

Este valor es correspondiente a la solución óptima si un artículo que se reemplaza de forma independiente.

Este enfoque tiene algunas ventajas:

- El cromosoma necesita sólo los genes  $N$  para representar un conjunto de números enteros  $k_i$  ( $k_1, k_2, \dots, k_n$ ).
- El cromosoma puede ser decodificado a una solución viable de una manera sencilla.
- No es necesario corregir factibilidad porque las soluciones no son influenciados por los cruces o mutaciones.

### 3.4.1.2 EVALUACIÓN DEL OBJETIVO POR LA FUNCIÓN FITNESS

En cada generación los individuos son caracterizados por la función fitness, la cual evalúa la calidad de la solución. Dado que el problema es mono objetivo, se puede calcular el fitness directamente de la función objetivo, como se muestra en la expresión (37).

$$Fitness = \frac{1}{TC(T, k_1, k_2, \dots, k_n)} \quad (37)$$

Para evaluar nuestra función objetivo se necesita un conjunto de  $k'_i$ , y un tiempo de ciclo básico ( $T$ ). El valor óptimo de  $T$  puede calcularse tomando la primera derivada con respecto a  $T$  de la función objetivo, e igualarlo a cero, sin embargo

$$\frac{\partial TC(T)}{\partial T} = - \left( S + \sum_{i=1}^n s_i / k_i \right) / T^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n D_i h_i k_i + \sum_{i=1}^n \frac{Z_\infty \sigma_i h_i k_i}{2 \sqrt{L t_i + T k_i}} = 0 \quad (38)$$

El tercer término de la derivada de la función (38), mantiene la variable  $T$  implícita e interna en un radical, por lo que al despejar la variable no es posible obtener un único valor. Eynan & Kropp (1998) demostraron que una aproximación al valor óptimo de  $T$ , cercana al 98% es provista por la expresión (39).

$$T_1 = \sqrt{2 \left( S + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{k_i} \right) / \sum_{i=1}^n h_i k_i \left( D_i + \frac{Z_\infty \sigma_i}{\sqrt{L t_i + T_0}} \right)} \quad (39)$$



Donde:

$$T_0 = \sqrt{2 \left( S + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{k_i} \right) / \sum_{i=1}^n h_i k_i D_i} \quad (40)$$

Para la restricción se procede así:

$$T_2 = \min \left( \frac{H_i}{D_i h_i w_i} \right) \quad (41)$$

Entonces,  $T_{opt} = \min(T_1, T_2)$ . La prueba de esta preposición es una extensión de la prueba hecha por Moon & Cha (2006).

**Prueba:** Considerando  $T_1 \leq T_2$ ,  $TC(T)$  es una función convexa en el intervalo  $[0, T^2]$ . Entonces, el tiempo de ciclo básico óptimo  $T_{opt} = T_1$ , de otro modo,  $T_1 \geq T_2$  como  $TC(T)$  es una función decreciente en el intervalo  $[0, T_2]$ . Es posible asegurar que el tiempo básico de ciclo óptimo  $T_{opt} = T^2$ . Utilizando este enfoque, el  $TC(T)$  es penalizado dependiendo de las restricciones. Pequeños valores de  $T$  implican muchos envíos por periodo, elevando el costo de pedir por ejemplo.

Finalmente usando  $(T_{opt}, k_1, k_2, k_3, \dots, k_n)$  podemos calcular el costo total mediante la función objetivo (27).

### 3.4.1.3 GENERACIÓN DE NUEVAS POBLACIONES: CRUZAMIENTO Y MUTACIÓN

Una vez que todos los individuos son evaluados por la función fitness, se pueden ordenar según su calidad (bajo coste). Las buenas soluciones tienen una alta probabilidad de transferir sus genes a la siguiente generación mediante en proceso de selección aleatorio. Las poblaciones son formadas por un porcentaje de las mejores soluciones ( $P_e$ ) de la generación anterior (élite), una cantidad ( $P_c$ ) de individuos generados mediante el cruce de dos padres, generadores de dos hijos, los genes intercambiados son seleccionados de forma aleatoria. Los genes a cruzar son seleccionados aleatoriamente. Además una cantidad ( $P_m$ ) de las soluciones son obtenidas a partir del proceso de mutación. Sólo un porcentaje de genes son sustituidos, estos se seleccionan de forma aleatoria y se reemplazan por un valor  $\sim [0,1]$ . Por otra parte se genera un porcentaje de individuos nuevos ( $P_n$ ). Una representación del procedimiento básico de cruzamiento y mutación se presenta en la *Figura 8*.

<b>Mutación (a)</b>					<b>Cruzamiento (b)</b> Padres				
0.12	0.24	0.98	0.75	0.86	0.23	0.15	0.87	0.74	0.65
0.12	0.24	0.52	0.75	0.86	0.78	0.25	0.75	0.75	0.48
					Descendencia				
					0.23	0.15	0.87	0.75	0.48
					0.78	0.25	0.75	0.74	0.65

Figura 8: Ejemplo: Mutación (a), cruzamiento (b)

#### 3.4.1.4 CALIBRACIÓN DE LA HEURÍSTICA

Calibrar un algoritmo genético puede implicar un problema combinatorio importante, dependiendo de la sensibilidad de los parámetros. En este caso particular se tienen cuatro: Probabilidad de cruzamiento ( $P_c$ ), la probabilidad de mutación ( $P_m$ ), tamaño de la población ( $M$ ), y el tamaño de la Elite como un porcentaje del tamaño de la población ( $P_e$ ). El objetivo principal en este sentido es mejorar el tiempo de computacional requerido para alcanzar la mejor respuesta conocida, con el fin de determinar un valor adecuado para estos parámetros se utilizó la estrategia empleada por Khouja et al. (2000).

En primer lugar se fijaron los siguientes valores:  $P_c = 0,7$ ;  $P_m = 0,2$ ;  $P_e = 3\%$ ;  $M = 100$ ; Se generaron datos aleatorios para 200 problemas; 100 de tamaño  $n = 20$  y 100 de tamaño  $n = 50$  se fijó un criterio de parada en 100.000 generaciones. Una vez completado el proceso fue tomado el costo obtenido como un valor de referencia en cada uno de los problemas, seguidamente se varió un parámetro a la vez y se corrió el algoritmo hasta alcanzar el valor de referencia, tomando nota del número de generaciones necesarias hasta alcanzar dicho valor. El primer parámetro definido fue la probabilidad de mutación:  $P_m$ , el cual no demostró tener un impacto significativo en el número de generaciones requeridas para alcanzar la respuesta de referencia, los cambios obtenidos no fueron más allá del 2% con respecto al valor inicial. La decisión tomada fue fijar  $P_m$  en un valor de 0,2.

El siguiente parámetro calibrado fue el tamaño de la población, el cual demostró cambios importantes en el costo obtenido al variar su magnitud (cambios de hasta un 52%). Para  $n = 20$  un valor de  $M = 50$  es adecuado, pero para valores de  $n = 50$  debe usarse  $M = 100$ . La sensibilidad del tamaño de la población es moderada, ya que cambia hasta un 30% al modificarlo. Seguidamente se fijó el porcentaje de individuos Elite en la población, el resultado fue fijarlo en 5%. La sensibilidad es moderada, pues se logran mejoras de hasta un 25% mediante su modificación. La Figura 9 muestra los resultados obtenidos del proceso de

calibración del parámetro  $P_e$ , es notoria la diferencia entre el valor de 5% y 1%, por lo tanto si es importante el parámetro, sobre todo para tamaños de  $n$  grandes. Es importante resaltar que aumentar deliberadamente el número de individuos Elite no tiene un efecto positivo en la respuesta, como puede corroborarse al aumentar el valor a 10%, el resultado es un aumento en el tiempo computacional, una interpretación a este efecto podría ser que las poblaciones son homogéneas bajo estas condiciones, es decir los genes son muy parecidos, pero al permitir la llegada de nuevos individuos (disminuir  $P_e$ ) las convergencia mejora por el ingreso de nuevos individuos con nuevos genes.

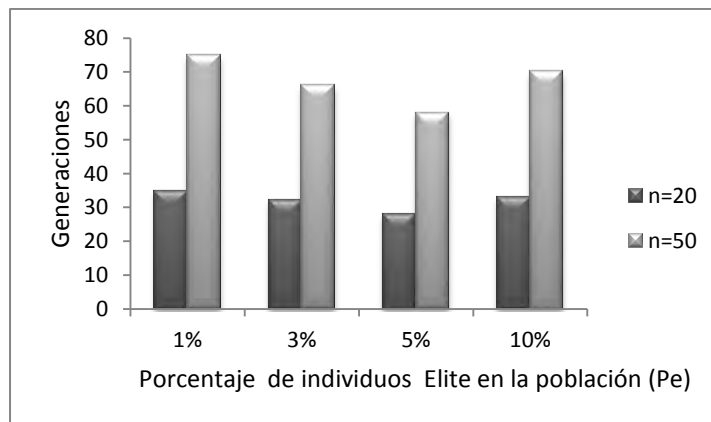


Figura 9: Porcentaje de individuos Elite en la población, versus el número de generaciones para 20 y 50 ítems

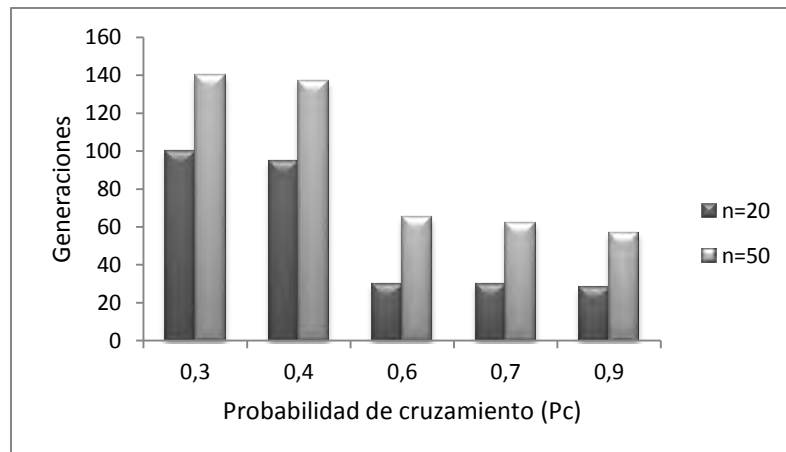


Figura 10: Probabilidad de cruzamiento versus el número de generaciones para 20 y 50 ítems

Finalmente la probabilidad de cruzamiento fue fijada en 0,6. La Figura 10 muestra la gran diferencia que existe entre fijar el parámetro en 0,4 o hacerlo en 0,6, el cambio es de por lo menos 70 generaciones, se disminuye el número de generaciones necesarias en por lo menos un 50%, comprobando la gran importancia de este parámetro.

La *Tabla 12* muestra un resumen de los resultados del proceso de calibración, se muestran los valores de prueba considerados, la máxima variación observada, una calificación cualitativa de los parámetros en términos de la magnitud de su sensibilidad y la decisión tomada. La escala de clasificación usada consistió en catalogar un parámetro con sensibilidad baja si su variación fue menor al 5%, moderada entre 5% y 15% y alta mayor a 15%.

*Tabla 12: Resultados del proceso de calibración de los parámetros*

Parámetro	Valores de Prueba	Máx variación	Cualitativo	Decisión
Probabilidad de cruzamiento (Pc)	0,2-0,3-0,4-0,6-0,7,-0,9	50%	Alto	0,6
Probabilidad de mutación (Pm)	0,1-0,2-0,4-0,6-0,7	2%	Bajo	0,2
Tamaño de la población	20 - 50 -100 -150	52%	Alto	50 para n<20, 100 para n>20
% Elite en la población (Pe)	1%-3%-5%-10%	25%	Moderado	5%

### 3.5 TÉCNICA DE ASIGNACIÓN DE COSTOS: APLICACIÓN DEL VALOR DE SHAPLEY

La estrategia de compartir los costos de los procesos de gestión de inventario se puede analizar como un juego cooperativo, por lo que se permite la formación de coaliciones entre jugadores (Bartholdi & Kemahlioglu-Ziya, 2005). Un supuesto importante en este sentido es que las coaliciones son viables, siempre y cuando se dé por sentado la racionalidad de los jugadores, quienes deben satisfacer sus intereses de manera eficiente, a través de los intercambios que puedan darse lugar (Myerson, 1991). Una abstracción de este supuesto es que los jugadores no deberían perder la oportunidad de mejorar sus ingresos favoreciendo a otro jugador, todos los jugadores deben ser transparentes y esforzarse por mejorar los ingresos de la coalición. Dentro de la teoría de juegos cooperativos, la técnica de asignación de beneficios provista por Shapley, discutida en la sección 2.3.1.1 se adapta perfectamente a los requerimientos de esta investigación.

Las dos razones principales para aplicar la fórmula de Shapley en esta investigación son: (i) asegurar una asignación de pagos que genere estabilidad, de forma que la coalición propuesta pueda trascender en el tiempo (no tenga razones para disolverse). (ii) Permitir una asignación basada en la contribución marginal de cada jugador en la reducción de costos totales, y no estrictamente en el volumen de carga, el poder económico de los jugadores o el valor que puede tener su nombre. La primera condición es vital para la investigación, ya que si alguno de los jugadores dentro de una coalición tuviera una razón suficiente para dejar la coalición propuesta y formar otra mejorando así su situación, de seguro lo hará, considerando la racionalidad de los jugadores, el valor de Shapley es garantía de la satisfacción de esta condición de equilibrio (ver sección 2.3.1). En este caso particular los

valores de los pagos de los juegos son negativos, ya que corresponden a asignaciones de costos.

Una manera de interpretar los beneficios obtenidos por los jugadores, es el ahorro obtenido por estos al formar una coalición en contraste con no hacerlo, el aumento de la contribución marginal de cada jugador aumenta el beneficio esperado, por tanto satisfacer la segunda condición, es también la oportunidad de motivar el desarrollo de prácticas colaborativas, donde los jugadores hagan su mejor esfuerzo por conseguir mayores beneficios para la coalición.

Los axiomas proporcionan importantes beneficios para la formación de coaliciones. La simetría (3) garantiza gran parte de la condición (ii); el poder o nombre de los jugadores no influyen en sus pagos, al menos no por una razón diferente a su capacidad para reducir el costo total obtenido por la coalición. Los jugadores son tratados de manera idéntica por la función característica, por tanto tendrán igual trato en la asignación del valor.

El axioma de eficiencia (4) asegura que todos los beneficios se distribuyen entre los jugadores; no hay pérdida de valor. Por su parte el axioma de linealidad (5) asegura que si un jugador  $i$  perteneciera a dos coaliciones no simultáneas, en cada uno recibe un pago  $\varphi_i$  de acuerdo a sus contribuciones y los beneficios obtenidos por la coalición, por lo tanto, dichos pagos no deben ser necesariamente los mismos. Sin embargo, la suma de éstos debe ser igual al pago recibido si perteneciera a una coalición formada por los jugadores de las dos coaliciones anteriores. Una interpretación interesante de este axioma es hecha por Myerson (1991), quien afirma que si la formación de estas coaliciones obedece a un proceso aleatorio con distribución  $(p, 1 - p)$ , que determina que el juego  $v$  o  $k$  se juegue mañana, y tiene la oportunidad de negociar la participación en la coalición  $S$  el día de hoy, que es  $(pv + (1 - p)k(S))$ , la negociación por pertenecer a:  $(pv)(S) + (1 - p)k(S)$ , se hace mañana, se espera que sus pagos sean iguales, lo que no implica que se reciba una penalización o un beneficio por pertenecer a uno u otra previamente. Se asume la neutralidad del riesgo por parte de los agentes.

### 3.5.1 INTEGRACIÓN DEL JRP CON EL VALOR DE SHAPLEY

El cálculo de las funciones de Shapley puede implicar un trabajo computacional y de campo importante. Es necesario calcular  $2^{|N|} - 1$  funciones características  $(v(S), S \subseteq N)$ , que representan el valor esperado del pago de todos los posibles juegos sobre  $N$  (conjunto de todos los jugadores). Por ejemplo, para calcular las asignaciones de costos para 4 jugadores, es necesario calcular 15 funciones características. El crecimiento de estas funciones es exponencial, por lo que pensar en el cálculo de una función particular para cada uno de estos juegos podría ser una restricción (Shapley, 1953a).

En este trabajo, la función objetivo (27) se convierte en una función genérica, ésta permite calcular las funciones características de cada juego o sub-coalición sobre  $N$ , sólo aportando los parámetros correspondientes a cada jugador:  $D_i, s_i, h_i, w_i, H_i$ . Es decir, una única función permite el cálculo de todas las funciones características sólo variando la cantidad de participantes de la coalición. Por otro lado las variables  $W$  y  $A$  son exógenas y no dependen de los jugadores, mientras que  $S$  (costo mayor de pedir) depende de los jugadores en conjunto.

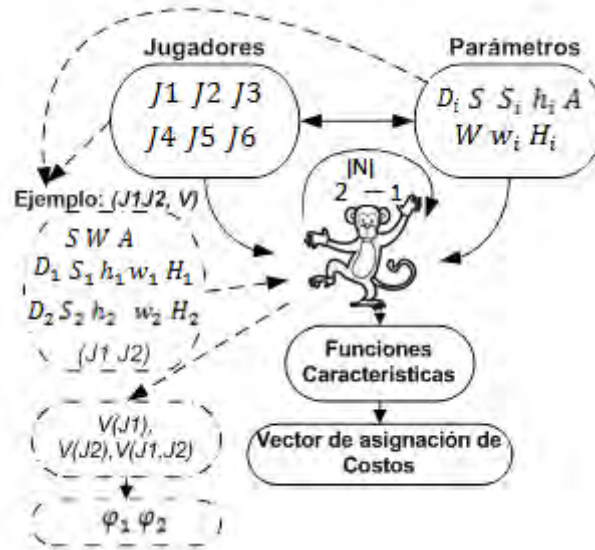


Figura 11: Esquema de integración JRP-Valor de Shapley propuesto

La heurística propuesta (Sección 3.4.1) debe ejecutarse tantas veces como funciones características sean necesarias ( $2^{|N|} - 1$ ), cada una de estas funciones implica resolver el JRP. Para  $N$  grandes el proceso puede ser computacionalmente restrictivo, por lo que el uso de los algoritmos genéticos se considera una buena elección dada su eficiencia. La Figura 11 presenta el esquema de integración entre el JRP y el Valor de Shapley. Iniciando en la parte superior de la figura, se observan los parámetros correspondientes a cada uno de los jugadores. Cada jugador puede aportar una o varias familias de producto, con los cuales se calculan tantas funciones características como sub-coaliciones sean posibles, haciendo uso del algoritmo genético presentado. Posteriormente, se calcula un vector de asignación de costos mediante la función de Shapley (6), la cual aporta un valor " $\varphi$ " por cada familia de producto, por tanto, la asignación de costos por cada jugador corresponde a la suma de todos los  $\varphi_i$  correspondientes a los productos que le pertenecen. En el lado izquierdo de la figura, se presenta un ejemplo en el que los jugadores  $J1$  y  $J2$  deciden coludir para formar una coalición, para lo cual es necesario calcular 3 funciones características; correspondientes a las sub-coaliciones formadas por el Jugador  $J1$  y  $J2$ , una coalición formada sólo por el jugador  $J1$ , y una por el jugador  $J2$ . Finalmente, es posible aplicar la función de Shapley y se obtiene la asignación de costos para el jugador 1 y el jugador 2:  $\varphi_1, \varphi_2$  respectivamente.

Este modelo aplica para coaliciones donde cada jugador aporta una familia de productos, o un jugador aportar más de una familia de productos, en cualquier caso la única modificación es que deben sumarse las asignaciones de costo de cada producto que le pertenece.

El siguiente algoritmo representa los pasos necesarios para integrar el algoritmo genético y el Valor de Shapley, a través del cual se da solución al CJRP:

**Paso 1:** Inicializar parámetros

**Paso 2:** Determinar todas las posibles coaliciones  $S_i$  sobre  $N$

**Paso 3:** Para  $i = 1: 2^{|N|} - 1$

- Calcular  $V(S_i)$  usando el AG, con:  $D_j, h_i, W, w_i, S, s_i, A, H$ , donde  $j = 1, 2, 3, \dots, |S_i|$

**Paso 4:** Calcular el Valor de Shapley usando todas las funciones características:  $V(S_i)$ .

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS DEL MODELO

En el capítulo anterior se presentó el diseño y calibración de la heurística que resuelve el CJRP. Ahora bien, se validará la eficacia del modelo logístico propuesto como estrategia para reducir costos, mediante el contraste de los resultados encontrados por la propuesta y los que entregaría el método tradicional aplicado de la mejor forma posible. El proceso de experimentación empleado se divide en dos: una experimentación computacional con parámetros simulados, que consta de 1000 problemas (Sección 4.1) y un caso de estudio desarrollado en 4 empresas de la ciudad de Barranquilla del sector de autopartes (Sección 4.2). Finalmente se presentan las conclusiones finales de la investigación en la Sección 4.3.

### 4.1 EXPERIMENTACIÓN COMPUTACIONAL

Para probar el modelo, se desarrollaron 1000 (200 por cada  $n$ ) problemas con diferentes parámetros generados aleatoriamente (ver *Tabla 13*). El procedimiento de experimentación se desarrolló teniendo en cuenta los trabajos hechos Khouja et al. (2000) y los trabajos de Moon & Cha (2006), estos investigadores han seguido la estructura propuesta por Goyal (1975).

La demanda  $D_i$ , el costo menor de pedir  $s_i$  (USD) y el costo de mantenimiento  $h_i$  se generaron a partir de una distribución uniforme en los intervalos  $[100, 100.000]$ ,  $[50, 2000]$ ,  $[0.2, 3]$  respectivamente. El  $h_i$  solo se utiliza para calcular la mejor política individual, ya que para las posibles coaliciones, se emplea un valor correspondiente al promedio de los  $h_i$  de los jugadores participantes. A costo mayor ( $S$ ) se le asignó un valor de 200 USD por cada familia de productos, por ejemplo para  $n = 4$  y 10 se utilizaron los valores de: 800 y 2000 respectivamente, de esta manera se penaliza el sistema al aumentar el número de familias de productos, considerando un costo por coordinación. Cabe precisar que el costo mayor  $S$ , no cambia en cada pedido; es independiente al número de ítems incluidos en un envío (sección 3.3). El costo de una unidad de transporte ( $A$ ) se fijó en 1000 USD, considerando el valor promedio de un flete de transporte más los costos por manipulación, la capacidad de transporte  $W$  por unidad es 68 (metros cúbicos), considerando la capacidad de un contenedor de 40 pies. El volumen unitario por familia  $w_i$ , se generó con una distribución uniforme  $[0.05, 1]$ , por otra parte el requerimiento de capacidad mínimo de almacenamiento por coalición  $H$  (metros cúbicos), se generó a partir del cálculo del espacio que ocuparía la sumatoria del inventario de ciclo ( $\frac{D_i}{2}$ ) de cada familia de productos.



Tabla 13: Valores asignados a los parámetros de entrada del modelo empleados en las pruebas

Parámetro	Asignación
$D_i$	$\sim[100, 100.000]$
$s_i$	$\sim[50, 2000]$
$h_i$	$\sim[0.2, 3]$
$w_i$	$\sim[0.05, 1]$
S	800, 2000, 4000, 6000, 10000 para $n = 4, 10, 20, 30, 50$
A	1000
W	68
Número jugadores	4

La condición de terminación, se fijó en detener el algoritmo si después de 50 generaciones consecutivas la mejor solución encontrada no mejora, o al alcanzar un total 500 generaciones, estas condiciones fueron fijadas teniendo en cuenta los resultados de la calibración de la heurística en la sección 3.4.1.4.

El número de jugadores determinado fue de 4, el cual se fijó teniendo en cuenta entrevistas aplicadas por parte del autor, hechas a empresarios de trayectoria de la Región dispuestos a establecer prácticas colaborativas. Los resultados se consignan en la *Tabla 14*. El 75% de los encuestados aseguran que estarían dispuestos a formalizar una sociedad con la finalidad de establecer prácticas colaborativas, con máximo 4 participantes.

Tabla 14: Resumen de la encuesta aplicada para validar el número de jugadores

<b>Pregunta:</b> Considerando que estaría dispuesto a establecer prácticas colaborativas en inventarios, con cuantos asociados estaría dispuesto a colaborar (Incluyéndose)	
Resultado	Frecuencia
2	1
3	4
4	18
5	1
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>

La *Tabla 15* presenta un resumen de los resultados obtenidos aplicando el modelo propuesto. La primera columna “Cant filias de producto” indica el número de familias de producto consideradas en cada fila ( $n = 4, 10, 20, 30, 50$ ), mientras que la columna siguiente, denominada “Productos por Jugador” corresponde al número de familias de productos asignadas a cada jugador (J1, J2, J3, J4), cada una con su respectivo volumen, precio,

demanda y costo particular. Se plantearon dos escenarios: En el E1 la cantidad de productos se distribuye de manera uniforme entre todas las empresas, mientras que en el E2 los jugadores P3 y P4 tienen más productos, emulando que tienen mayor participación en el mercado. La columna de la derecha “Ahorro promedio” considera la diferencia en términos porcentuales, que existiría llevando a cabo la coalición (todos los jugadores) y no hacerlo, es decir operar de forma independiente, bajo la mejor política individual, el resultado de cada fila se obtuvo luego de correr el modelo 100 veces, según los parámetros generados de forma aleatoria, y promediando el ahorro obtenido en las corridas hechas.

Tabla 15: Resultados del proceso de experimentación

Cant filas producto		Ahorro Promedio (%)													
		Productos por Jugador				Valor de Shapley					Asignación Lineal				
		J1	J2	J3	J4	J1	J2	J3	J4	Prom	J1	J2	J3	J4	Prom
4	E1	1	1	1	1	19,5	29,8	27,1	30,5	26,7	18,5	29,9	32,2	9,2	19,2
10	E1	2	2	3	3	25,9	25,1	16,5	15,9	24,7	38,3	32,8	12	9,5	22,2
	E2	1	1	4	4	34,1	32,1	26,5	21,1		33,3	32,4	10,1	9,4	
20	E1	5	5	5	5	25,8	26	18,1	26,1	24,8	43,2	44	11,8	17,9	27,3
	E2	2	2	8	8	29,7	27,1	20,4	25,1		40,1	40,3	11,1	10,1	
30	E1	7	7	8	8	25,8	25,9	30	23,5	26,9	42,1	45,1	14,6	15,4	26,4
	E2	5	5	10	10	28,9	31,2	26,3	23,7		42,5	35,2	8,5	8,1	
50	E1	10	10	15	15	37,3	36,9	29,2	30,1	34,0	46,1	45,1	4,1	3	23,8
	E2	5	5	20	20	42,3	44,4	25,6	26,1		43,8	42,2	3,8	2,4	
Generales		Prom	Desv	Prom		29,9	30,9	24,4	24,7	27,4	38,7	38,6	9,5	9,4	23,8
V. Shapley		28,7	6,2	Mín		19,5	25,1	16,5	15,9	24,7	18,5	29,9	3,8	2,4	19,2
A. Lineal		23,4	15,8	Máx		42,3	44,4	30,0	30,5	34,0	46,1	45,1	14,6	17,9	27,3

En esta investigación se utilizaron dos técnicas de asignación: El valor Shapley y el método tradicional o lineal de costeo por volumen de carga, que se calcula dividiendo el costo total anual entre el volumen transportado por cada uno de los jugadores. Este tipo de asignación es la que usualmente lleva a cabo un operador logístico a la hora cobrar por sus servicios.

$$Asignación\ Lineal_i = \frac{Costo\ total\ de\ la\ coalición}{Volumen\ del\ jugador\ i} \quad (42)$$

$$AL_i = \frac{\sum_{i=1}^N \varphi_i}{\sum_{i=1}^{NJ} \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (43)$$

Donde,  $NJ$  es igual al número de jugadores totales, en este caso 4.

#### 4.1.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El valor de Shapley garantiza que la asignación propuesta pertenece al núcleo del juego, por lo tanto, es muy probable que las asignaciones de costos encontradas por el método lineal no satisfagan la condición de equilibrio, en otras palabras, los jugadores tendrán razones suficientes para formar coaliciones diferentes. Por ejemplo en la primera fila, para un  $N = 4$ , donde todos los jugadores aportan un producto, los jugadores J2 y J3 tendrían razón suficiente para aplicar el método lineal de asignación, ya que obtendrían ahorros mayores que al aplicar el valor de Shapley, sin embargo los jugadores J1 y J4 nunca aceptarían esta propuesta porque tienen una razón suficiente para preferir la asignación de Shapley, si los jugadores J1 y J4 deciden no pertenecer a la coalición, entonces J2 y J3 nunca lograrán dichos ahorros, además Shapley garantiza que no existe otra asignación que mejore simultáneamente el estado de los 4 jugadores, es decir que genera equilibrio.

Las economías de escala obtenidas por jugadores que en estado inicial tienen muchos productos, no es significativa cuando se agrupa con jugadores que cuentan con pocos, favoreciendo en este caso a estos últimos, porque en su estado inicial ya han alcanzado grandes economías de escala, pero si cada jugador ofrece una cantidad más o menos uniforme de productos, se esperaría que los ahorros fueran equiparables. Entre mayor sea la cantidad de productos a considerar en la coalición, mayor será el ahorro percibido por los jugadores, ya que de esta manera se divide el costo entre un mayor número de unidades, por esta razón el costo logístico de jugadores con pocos productos es elevado. Por ejemplo en la fila correspondiente a  $N = 50$ , en la distribución 5, 5, 20, 20, es notoria la diferencia entre los jugadores J1 y J2 en comparación con el J3 y J4, el jugador J1 obtiene un ahorro del 42,3%, el J2 un 44,4%, ambos con tan sólo 5 productos, mientras que J3 obtiene un 25,6% y el J4 un 26,1%, en promedio J1 y J2 presentan un 17,5% más de ahorro (ver *Figura 12*). Bajo ninguna circunstancia esto significa que incluir más productos resulta más costoso, puede interpretarse que la magnitud del ahorro obtenido al pasar de 40 productos incorporados por J3 y J4, a 50 luego del aporte de J1 y J2 no es alto, pero si se observa de forma contraria, pasar de 10 productos a 50, resulta ser mucho más importante en términos de ahorros, porque se divide el costo total entre un mayor número de unidades, por tanto existirán envíos con mayores cantidades de productos, una *mejor eficiencia logística*. Este comportamiento se presenta en todas las filas donde la distribución de productos es mayor para los jugadores J3 y J4. En la *Figura 12*, se muestra la comparación antes descrita, cabe señalar que el orden en que se presenta la distribución de productos es ascendente por ejemplo: las barras gris oscuro representan la distribución donde los Jugadores J1 y J2 aportan 10 productos, y los jugadores J3 y J4 aportan 15.

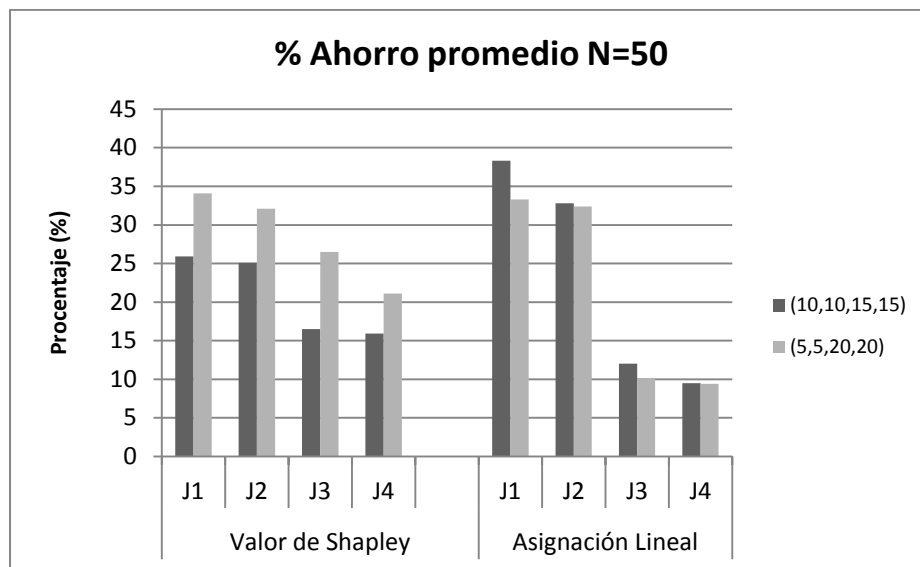


Figura 12: Comparación de los ahorros promedio obtenidos mediante el valor de Shapley y la Asignación lineal, para las distribuciones 10,10,15,15 y 5,5,20,20, para 50 familias de productos

La Figura 13, permite corroborar una vez más que aquellos Jugadores con menor cantidad de productos, tienen un mayor ahorro, esto se debe a que pasa de una asignación con una cantidad de productos baja, a una donde existen mayores cantidades, genera por ende un ahorro más importante, en este caso los jugadores J1 y J2 en la asignación 1,1,4,4 sólo cuentan con un producto, al hacer parte de la coalición llegan a sumar 10, por tanto en su forma regular o independiente, cargarían todos sus costos sobre un solo producto, mientras que en la coalición lo harían con 10 productos, que aunque no se incluyen en todos los envíos, existe una alta probabilidad de incluir más de un producto en todos los envíos. Por otra parte, las asignaciones mediante el método lineal no generan equilibrio, es evidente la gran diferencia entre el ahorro alcanzado por J1 y J2, sin duda J3 y J4 preferirían siempre las asignación de Shapley, y J1 y J2 no tendrán otra opción que aceptarla, ya que no existe alguna otra donde los ahorros de todos mejoren simultáneamente.

Para 20 familias de producto, se observa un comportamiento muy particular; el promedio alcanzado mediante la asignación lineal fue de 27,3% frente a un 24,8% alcanzado mediante el valor de Shapley, sin embargo esto no quiere decir que la asignación lineal lo supere; el jugador J1 y J2 obtienen grandes beneficios, cercados mientras que los Jugadores J3 y J4 pocos beneficios, sin embargo estos últimos nunca conformarían esta coalición sabiendo que pueden obtener mejores resultados aplicando Shapley, o alguna otra asignación que ofrezca el mercado.

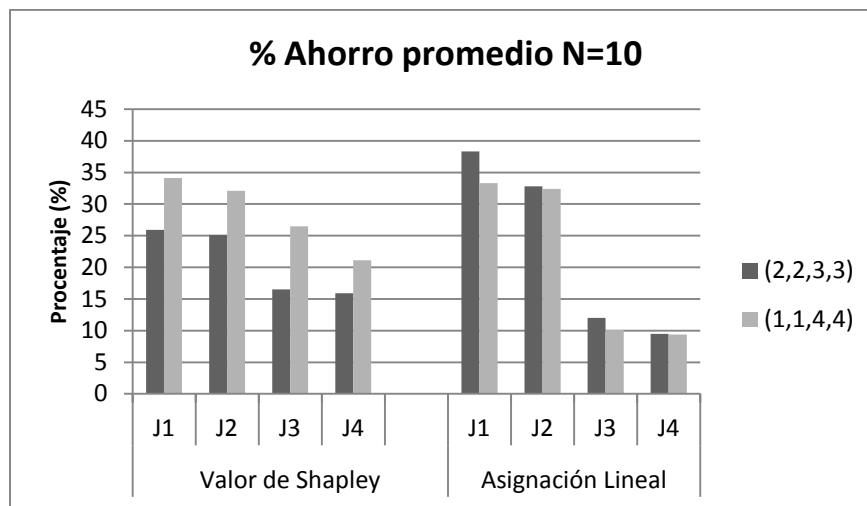


Figura 13: Comparación de los ahorros promedio obtenidos mediante el valor de Shapley y la Asignación lineal, para las distribuciones 2,2,3,3 y 1,1,4,4, para 10 familias de productos

Luego de realizar la experimentación, se puede concluir que el CJRP siempre genera beneficios económicos mayores que los alcanzados actuando de forma independiente. No hay ningún caso en el que el método individual exceda el colaborativo, la colaboración indiscutiblemente trae consigo beneficios económicos importantes; considerando todos los escenarios antes descritos, el método ofrece un ahorro en costos logísticos del 28,7% en promedio, en comparación con el método de operación individual, bajo el escenario en que coluden 4 jugadores. En general el método de asignación lineal no genera equilibrio, se puede comprobar por inspección en la *Tabla 15* que la asignación mediante el valor de Shapley siempre representa una mejor opción por lo menos para un de los jugadores, y en su demostración se encuentra la garantía de que el valor aportado pertenece al núcleo (Shapley, 1953a).

## 4.2 CASO DE ESTUDIO

La presente sección tiene por objetivo ilustrar un caso de estudio desarrollado en 4 empresas importadoras de la ciudad de Barranquilla, de forma que pueda verificarse una vez más la afectividad de la propuesta. Durante esta sección se pondrán en práctica cada uno de los desarrollos que dieron lugar al modelo CJRP, al final de la sección se presentará un resumen de la política a implementar. Las empresas en cuestión, se dedican a la comercialización de refacciones automotrices, se encuentran contiguas y no son competidoras, pues comercializan autopartes para distintas marcas de autos, e incluso una de ellas vende refacciones de motos, todas importan productos desde los Estados Unidos, donde se encuentran sus proveedores principales. De manera general, estas empresas cuentan con las características apropiadas para poner en práctica el modelo logístico propuesto en esta investigación:

- Cargas compatibles y contenerizadas
- Cercanía geográfica
- Realizan importaciones vía marítima
- Intensión de poner en práctica estrategias colaborativas
- Sus proveedores cuentan están cercanos geográficamente

Cabe recordar que el modelo propuesto es de tipo táctico, por lo tanto los detalles operativos como; el cubicaje o el almacenamiento en bodegas se considera que es hecho de la mejor manera. A continuación se presentará el perfil de cada una de las empresas colaboradoras:

#### 4.2.1 GENERALIDADES DE LAS EMPRESAS PARTICIPANTES

##### **EMPRESA 1**

Esta primera empresa comercializa refacciones de motos, se especializa en sistemas de frenado para la mayoría de motos de fabricación estadounidense que se encuentran en el mercado, cuenta con una experiencia en importaciones de 8 años, los trámites de importación se encuentran sub contratados con una empresa intermediadora aduanera. La totalidad de sus ventas se realizan al por menor en dos puntos de venta de la Ciudad. La familia de productos seleccionada mantiene en el catálogo de la empresa 30 referencias, sin embargo sus características de peso, volumen, demanda y precio son muy similares. Dentro de las 30 referencias existen sólo 3 marcas, una con 11 productos, una con 9 y una con 10. A pesar de su diferencia en marca y modelo, los productos pueden ser considerados homogéneos, por tanto pertenecen a la misma familia de productos. La información general de interés para esta empresa se resume en la *Tabla 16*.

*Tabla 16: Resumen de la información preliminar de interés de la Empresa 1*

INFORMACIÓN GENERAL EMPRESA 1	
<i>Tamaño de empresa</i>	Pequeña
<i>Contenedores al año</i>	4
<i>Periodicidad</i>	cada 3 meses
<i>Tipo contenedor</i>	20 ft
<i>Capacidad de bodega</i>	50 mts <sup>3</sup>
<i>Ocupación promedio bodega</i>	82%
<i>Área total</i>	250 mts <sup>2</sup>
<i>Transporte</i>	Sub contratado
<i>Cantidad Personal comercio exterior</i>	Sub contratado
<i>Valor FOB del producto</i>	4,9 usd
<i>Valor EXW del producto</i>	4,5 usd
<i>Demanda</i>	42.609 unds
<i>Unidades por caja</i>	32
<i>Volumen por caja</i>	0,06 mts <sup>2</sup>
<i>Nivel de servicio esperado</i>	90%

## **EMPRESA 2**

La segunda empresa comercializa refacciones para autos, cuenta con 4 puntos de venta, sin embargo se considerará el sólo el punto de venta principal, al cuenta con 12 años de experiencia, no tiene departamento de comercio exterior, por lo que sub contrata los servicios de empresas intermediadoras aduaneras. La familia de productos seleccionada corresponde a autopartes genéricas de sistemas de frenos, las cuales prestan servicio a distintas marcas de autos, en especial autos de servicio público, la empresa maneja cerca de 150 ítems, sin embargo la familia seleccionada, corresponde a los producto principales, que son tan sólo 4 referencias, las cuales se pueden considerar homogéneas. La información general de la empresa se presenta en la *Tabla 17*

*Tabla 17: Resumen de la información preliminar de interés de la Empresa 2*

INFORMACIÓN GENERAL EMPRESA 2	
<i>Tamaño de empresa</i>	Pequeña
<i>Contenedores al año</i>	3
<i>Periodicidad</i>	cada 4 meses
<i>Tipo contenedor</i>	20 ft
<i>Capacidad de bodega</i>	80 mts <sup>3</sup>
<i>Ocupación promedio bodega</i>	41%
<i>Área total empresa</i>	300 mts <sup>2</sup>
<i>Transporte</i>	Sub contratado
<i>Cantidad Personal comercio exterior</i>	Sub contratado
<i>Valor FOB del producto</i>	3,12 usd
<i>Valor EXW del producto</i>	2,98 usd
<i>Demanda</i>	26.494 unds
<i>Unidades por caja</i>	40
<i>Volumen por caja</i>	0,096 mts <sup>2</sup>
<i>Nivel de servicio esperado</i>	95%

## **EMPRESA 3**

La empresa número 3, se dedica a la comercialización de accesorios para motor, la empresa cuenta con un catálogo con cerca de 190 referencias, de las cuales 18 son homogéneas, por tanto consideradas familias de producto, esta familia es la de mayor rotación, además proviene de los Estados Unidos, la experiencia en importaciones de la empresa es de 15 años, para lo cual emplea una sociedad intermediadora aduanera. La empresa cuenta con un punto de venta donde se vende al por menor, sin embargo sus mayores porcentajes de ventas se encuentran en las ventas al por mayor, con un 90% de las ventas. La información general de esta empresa se resume en la *Tabla 18*.

Tabla 18: Resumen de la información preliminar de interés de la Empresa 3

INFORMACIÓN GENERAL EMPRESA 3	
<i>Tamaño de empresa</i>	Pequeña
<i>Contenedores al año</i>	6
<i>Periodicidad</i>	cada 2 meses
<i>Tipo contenedor</i>	20 ft
<i>Capacidad de bodega</i>	Sub contratado 47 mts <sup>3</sup>
<i>Ocupación promedio bodega</i>	83%
<i>Área total</i>	200 mts <sup>2</sup>
<i>Transporte</i>	Sub contratado
<i>Cantidad Personal comercio exterior</i>	Sub contratado
<i>Valor FOB del producto</i>	1,1 usd
<i>Valor EXW del producto</i>	0,9 usd
<i>Demanda</i>	58.435 unds
<i>Unidades por caja</i>	40
<i>Volumen por caja</i>	0,096 mts <sup>2</sup>
<i>Nivel de servicio esperado</i>	95%

#### **EMPRESA 4**

La empresa 4 es la de mayor tamaño, el mayor porcentaje de sus ventas corresponde a ventas al por mayor 80%, mientras que sólo el 20% de las ventas se realiza en su único punto de venta. Sus principales clientes se encuentran en otras ciudades de la costa, como Valledupar, Santa Marta y Cartagena. La empresa cuenta con 18 años de experiencia en el mercado, el 90% de los productos que comercializa son provenientes de los Estados Unidos, el excedente corresponde a proveedores nacionales. Sin embargo los productos principales (8) corresponden a refacciones para suspensión de autos en distintas marcas. La familia de producto seleccionada, tiene características similares en volumen, precio y demanda, de hecho son fabricados por el mismo proveedor. La información general de la empresa se presenta seguidamente en la *Tabla 19*.



Tabla 19: Resumen de la información preliminar de interés de la Empresa 4

INFORMACIÓN GENERAL EMPRESA 4	
<i>Tamaño de empresa</i>	Mediana
<i>Contenedores al año</i>	2
<i>Periodicidad</i>	cada 26 meses
<i>Tipo contenedor</i>	40 ft
<i>Capacidad de bodega</i>	70 mts <sup>3</sup>
<i>Ocupación promedio bodega</i>	69%
<i>Área total</i>	200 mts <sup>2</sup>
<i>Transporte</i>	Sub contratado
<i>Cantidad Personal comercio exterior</i>	Sub contratado
<i>Valor FOB del producto</i>	1 usd
<i>Valor EXW del producto</i>	0,8 usd
<i>Demanda</i>	104.825 unds
<i>Unidades por caja</i>	67
<i>Volumen por caja</i>	0,06
<i>Nivel de servicio esperado</i>	95%

#### 4.2.2 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COSTO

En este caso de estudio la estimación de los parámetros no fue una tarea fácil, puesto que la información requerida no se encontraba consolidada, por ejemplo, la demanda tuvo que ser determinada a través de la verificación de los registros de facturación, sin embargo la estructura de estimación de costos diseñada en la sección 3.2 resultó ser muy útil y eficiente para estimar de manera precisa cada uno de los rubros. Los resultados de la estimación de los costos de pedir se presentan a continuación.

##### 4.2.2.1 COSTOS DE PEDIR AGREGADO ( $S, N = 1$ )

A pesar de que la estructura de costos de pedir del modelo se divide en dos: costo mayor y menor de pedir, es necesario calcular el costo de pedir general descrito en la sección 3.2.1, puesto que es necesario contrastar entre el mejor resultado posible que una empresa puede conseguir actuando de forma independiente ( $N = 1$ ), y el resultado encontrado mediante el uso de las prácticas colaborativas. En el caso en que los jugadores actúan de forma independiente con una sola familia de productos, no existe costo menor de pedir ( $s_i$ ), solo el costo mayor de pedir ( $S$ ), en esos casos se deben emplear los elementos de la *Tabla 6*.

Tabla 20: Resumen de los costos de pedir anualizados para el caso de estudio.

ELEMENTO DE COSTO	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4
<b>PLAN</b>				
Costo laboral de planear	\$ 3.694.444,44	\$ 468.750,00	\$ 3.694.444,44	\$ 1.701.388,89
Costo de automatización de la planeación	\$ 425.347,22	\$ 11.666,67	\$ 140.000,00	\$ 27.708,33
Costo de propiedades, planta y equipos	\$ 2.595.833,33	\$ 255.208,33	\$ 2.006.083,33	\$ 94.184,03
<b>Total Plan</b>	\$ 6.715.625,00	\$ 735.625,00	\$ 5.840.527,78	\$ 1.823.281,25
<b>SOURCE</b>				
Costo laboral de abastecer	\$ 748.611,11	\$ 700.000,00	\$ 972.222,22	\$ 510.416,67
Costo de automatización	\$ 273.437,50	\$ 29.166,67	\$ 350.000,00	\$ 21.875,00
Costo de propiedades, planta y equipos	\$ 2.271.354,17	\$ 102.083,33	\$ 2.507.604,17	\$ 56.510,42
Costo del transporte	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo de tarifas, impuestos y derechos	\$ 28.990.000,00	\$ 21.630.000,00	\$ 37.500.000,00	\$ 19.675.000,00
<b>Total Source</b>	\$ 32.283.402,78	\$ 22.461.250,00	\$ 41.329.826,39	\$ 20.263.802,08
<b>TOTAL</b>	\$ 38.999.027,78	\$ 23.196.875,00	\$ 47.170.354,17	\$ 22.087.083,33
<b>Pedidos por año</b>	4	3	6	2
<b>COSTO PROMEDIO POR PEDIDO</b>	\$ 9.749.756,94	\$ 7.732.291,67	\$ 7.861.725,69	\$ 11.043.541,67
<b>Conversión 1USD=2500 pesos colombianos</b>	\$ 3.899,90	\$ 3.092,92	\$ 3.144,69	\$ 4.417,42

La *Tabla 20*, contiene la información resultante del proceso de estimación de costos de pedir la para las cuatro empresas del caso de estudio. Comparando los costos de planear obtenidos con los reportados en el Proyecto Clúster logístico (ver *Tabla 4* ) para empresas similares, la empresa 1 realiza 4 pedidos por año, a un costo de total anual de \$ 6'715.625 (671,5 USD por envío), ubicándose en el segundo cuartil; categoría "Promedio", la empresa 2 con 3 envíos por año y un costo de \$ 735.625 (98.08 USD por envío) categoriza en el último cuartil superior, siendo una empresa con desempeño "Excelente", mientras que la empresa 3, con 6 envíos al año, \$ 5'840.527 (389,37 USD por envío) categoriza en el tercer cuartil superior, siendo una empresa con desempeño "Superior", al igual que la empresa 4, con 2 envíos al año \$ 1'823.281 (364,66 USD por envío).

Con respecto al costo de abastecer o Source, la *Tabla 4* indicaría que todas las empresas se encuentran dentro del segundo cuartil, por tanto se encuentran en el "Promedio". El costo total de importación por pedido para las cuatro empresas, se encuentra en se segundo cuartil, que está definido por el rango comprendido entre \$3.937,01 y \$10.938,50, por tanto se encuentra dentro del promedio.

#### 4.2.2.2 COSTO DE PEDIR MAYOR O COSTO COMPARTIDO ( $S, N > 1$ )

La definición de este costo se ha hecho en la sección 3.2.1, sin embargo cuando la cantidad de jugadores es mayor a 1, los elementos de costo se reducen con respecto a la estructura

presentada en la *Tabla 20*, ya que se debe hacer distinción entre aquellos costos que dependen del tipo de ítem que se incluye en una orden conjunta, y aquellos que son independientes de la cantidad y tipo de ítem incluido. El costo identificado en la *Tabla 6* (Costo de pedir), denominado: *Costo de tarifas, impuestos y derechos*, es discriminado en los elementos de la *Tabla 8*. En algunos casos estos elementos de costos no son distinguibles, ya que son cobrados por un operador logístico en una única factura, en este caso se logró hacer una discriminación la cual se encuentra *Tabla 21*.

*Tabla 21: Resumen de los costos de pedir mayores o compartidos para las cuatro empresas (USD)*

<b>COSTO DE PEDIR MAYOR COMPARTIDO</b>		
<b>Costo de tarifas, impuestos y derechos</b>		
<i>Almacenamiento (Hasta una semana)</i>	\$	1.000,00
<i>Manipuleo pre embarque</i>	\$	350,00
<i>Manipuleo de embarque</i>	\$	300,00
<i>Administración, representación de la carga y otros derechos</i>	\$	850,00
<i>Representación, documentación y legalización (Destino)</i>	\$	250,00
<b>TOTAL(USD)</b>		<b>\$ 2.750,00</b>

Los elementos de la tabla anterior fueron obtenidos mediante cotizaciones realizadas a 3 operadores logísticos ubicados en la ciudad de Miami, de los cuales dos tienen operaciones en Colombia, en particular estos operadores ofrecen el servicio de legalización de carga o nacionalización que ha sido descrito en la *Figura 6*, cada elemento corresponde al promedio obtenido mediante la cotización. Todos estos rubros son independientes del tamaño de pedido, por ejemplo el *costo de almacenamiento*, de hasta una semana es el derecho que tienen las empresas participantes por usar un espacio físico en las bodegas del operador logístico en origen, el área máxima permitida es la destinada hasta para dos contenedores de carga. *El manipuleo pre embarque y el del embarque*, corresponden a tarifas fijas incurridas por las empresas, a razón de las maniobras llevadas a cabo en el punto de consolidación y en el puerto de origen. *La administración, representación y otros derechos son tarifas cobradas*, son tarifas cobradas por los operadores logísticos en origen, mientras que la *representación, documentación y legalización*, corresponde a tarifas cobradas en el destino por las sociedades intermediadoras aduaneras, este rubro incluye la nacionalización, donde es necesario recolectar documentos requeridos por la autoridad aduanera, en este todas las empresas requieren dos documentos: Declaración de importación, Declaración Andina de Valor, Declaración de cambio.

#### 4.2.2.3 COSTO DE PEDIR MENOR O COSTO INDEPENDIENTE ( $s_i$ $N > 1$ )

Este costo se estimó teniendo en cuenta los elementos descritos en la *Tabla 9*, su procedimiento de estimación se describió en la sección 3.2.1, note que esta estructura mantiene todos los elementos de la *Tabla 6*, sólo se han extraído los conceptos de costo del transporte y costo de tarifas.

*Tabla 22: Resumen de los costos de pedir menores para cada empresa*

ELEMENTO DE COSTO	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4
<b>PLAN</b>				
<i>Costo laboral de planear</i>	\$ 4.063.888,9	\$ 515.625,0	\$ 4.063.888,9	\$ 1.871.527,8
<i>Costo de automatización de la planeación</i>	\$ 467.881,9	\$ 12.833,3	\$ 154.000,0	\$ 30.479,2
<i>Costo de propiedades, planta y equipos</i>	\$ 2.855.416,7	\$ 280.729,2	\$ 2.206.691,7	\$ 103.602,4
<b>Total Plan</b>	\$ 7.387.187,5	\$ 809.187,5	\$ 6.424.580,6	\$ 2.005.609,4
<b>SOURCE</b>				
<i>Costo laboral de abastecer</i>	\$ 748.611,1	\$ 700.000,0	\$ 972.222,2	\$ 510.416,7
<i>Costo de automatización</i>	\$ 273.437,5	\$ 29.166,7	\$ 350.000,0	\$ 21.875,0
<i>Costo de propiedades, planta y equipos</i>	\$ 2.271.354,2	\$ 102.083,3	\$ 2.507.604,2	\$ 56.510,4
<b>Total Source</b>	\$ 3.293.402,8	\$ 831.250,0	\$ 3.829.826,4	\$ 588.802,1
<b>TOTAL</b>	\$ 10.680.590,3	\$ 1.640.437,5	\$ 10.254.406,9	\$ 2.594.411,5
<b>Pedidos por año</b>	\$ 4	\$ 3	\$ 6	\$ 2
<b>COSTO PROMEDIO POR PEDIDO</b>	\$ 2.670.147,6	\$ 546.812,5	\$ 1.709.067,8	\$ 1.297.205,7
<b>Conversión 1USD=2500 pesos colombianos</b>	\$ 1.068,1	\$ 218,7	\$ 683,6	\$ 518,9

Todos los rubros relacionados al costo de planear, han sido inflados en un 10%, debido a la consideración de que el costo de coordinar los envíos, bajo el esquema propuesto aumente en hasta un 10% en el uso de recursos y fuerza laboral.

#### 4.2.2.4 COSTO DE MANTENER ( $h_i$ , $\forall N$ )

El costo de mantener fue estimado mediante la suma de los elementos de la *Tabla 7*, y descritos en la sección 3.2.2. La *Tabla 23* contiene los costos relativos al proceso de mantener inventario por las cuatro empresas. La fracción  $h$  de la segunda empresa resulta ser la más alta, por tanto es la empresa con el mayor costo de mantenimiento de inventarios, a pesar de mantener el menor costo de capital entre las 4, su costo de ocupación es bastante alto, al igual que el costo por gestión de inventarios. Esta empresa tiene un área de bodega de 90 mts<sup>2</sup>, con una ocupación baja (41%), por lo que la productividad de este recurso es baja. La empresa 1 mantiene el segundo costo por mantenimiento más alto, su costo del riesgo es el más alto, considerando el tipo de seguro que maneja, en este caso un seguro todo riesgo, también mantiene un costo de obsolescencia elevado, debido a prácticas inadecuadas en el manejo de materiales, por ejemplo un diseño de estanterías inapropiado; es frecuente la pérdida de ventas por productos desaparecidos al mantener, algunas piezas presentan deterioro a razón la presencia de humedad en la bodega. Por su parte la empresa

4, a pesar de ser una empresa con la mayor demanda, mantiene un costo de mantener inventarios bajo, producto de un costo de capital bajo, una gestión de bodega apropiada que representa costos muy bajos de obsolescencia, a pesar de sus costos de ocupación y de gestión son altos, son coherentes con la cantidad de persona que manejan, dada su alta rotación de inventarios y la dinámica de sus ventas.

#### **Fracción “h” para las coaliciones**

Estimar un costo de mantener, representado para todas las posibles coaliciones que puedan presentarse no es tarea fácil, cabe recordar que el número de coaliciones posibles crece de forma exponencial respecto al número de jugadores ( $2^N - 1$ ), por tanto se consideró utilizar el valor de  $h$  promedio, en este caso 0,88. Esta fracción tal como se comentó en la sección 3.2.2.6, es una representación del costo de mantenimiento de inventario o Holding Cost en términos unitarios (\$/unidad/año). Considerar el valor más alto sería castigar el modelo, además no se sabe a ciencia cierta cuál sería el valor de cada uno de los rubros descritos en la *Tabla 23*, sin embargo en caso de que se llegará a conformar la coalición sería razonable pensar en un ahorro por cantidad y de negociaciones con proveedores más eficientes.

*Tabla 23: Resumen de los costos de mantener inventarios anualizados para el caso de estudio.*

ELEMENTO DE COSTO	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4
<i>Costo Capital</i>	\$ 10.412.500,00	\$ 5.616.000,00	\$ 2.555.025,00	\$ 8.000.000,00
<i>Costo obsolescencia</i>	\$ 15.876.000,00	\$ 13.104.000,00	\$ 11.880.000,00	\$ 2.384.800,00
<i>Costo del riesgo</i>	\$ 31.542.857,14	\$ 16.800.000,00	\$ 20.320.000,00	\$ 13.680.000,00
<i>Costo ocupación</i>	\$ 21.000.000,00	\$ 28.800.000,00	\$ 19.440.000,00	\$ 26.880.000,00
<i>Costo de gestión de inventario y varios</i>	\$ 31.744.340,28	\$ 24.720.750,00	\$ 25.857.777,78	\$ 27.454.444,44
<b>TOTAL</b>	\$ 110.575.697,42	\$ 89.040.750,00	\$ 80.052.802,78	\$ 78.399.244,44
<b>Conversión 1USD=2500 pesos colombianos</b>	\$ 44.230,28	\$ 35.616,30	\$ 32.021,12	\$ 31.359,70
<b>Fracción h</b>	<b>1,04</b>	<b>1,34</b>	<b>0,55</b>	<b>0,30</b>

#### **4.2.2.5 COSTO DE TRANSPORTE (t, $\forall N$ )**

El costo de transporte fue descrito originalmente en la sección 3.2.1. La *Tabla 24* presenta los datos estimados de los rubros que conforman el costo de transporte. El valor del flete terrestre, fue determinado mediante cotización a 3 empresas transportadoras, una de ellas filial de la intermediadora aduanera consultada para estimar el costo de nacionalización, además los rubros de: *Embalaje*, *Unitarización* y *Cargue*, fueron aportados por los operadores logísticos consultados, ya que estos procesos se llevan a cabo en origen, justo en el punto de consolidación. La desagregación es el proceso de ubicar la carga ya unitarizada, en las bodegas destinadas por la coalición, para ellos se requiere de la contratación de personal, por experiencia de los consultados se sugiere la contratación de 5 personas, cada una con un costo de 10 USD por contenedor. El Flete marítimo para un

contenedor de 40 pies High Cube, fue aportado por los operadores de carga, quienes cobran este rubro en su tarifa. En este caso no existe costo de transporte desde los proveedores hasta el punto de consolidación, puesto que el Incoterm empleado es del FOB.

*Tabla 24: Resumen del costo de transporte estimado*

<b>COSTO TRANSPORTE</b>		
<i>Embalaje</i>	\$	100,00
<i>Unitarización</i>	\$	80,00
<i>Cargue</i>	\$	45,00
<i>Descargue</i>	\$	55,00
<i>Desagregación</i>	\$	50,00
<i>Flete marítimo</i>	\$	2.500,00
<i>Flete terrestre</i>	\$	160,00
<b>TOTAL (USD)</b>	<b>\$</b>	<b>2.990,00</b>

### **4.2.3 ESCENARIOS DE EVALUACIÓN**

En este caso de estudio se pusieron a prueba 5 escenarios distintos, con la finalidad de verificar la efectividad de la estrategia ante variaciones de algunos parámetros. Los escenarios consideran posturas neutrales (Escenario 1), posturas pesimistas (Escenario 3 4) y posturas optimistas (Escenario 2 y 5). Si bien es cierto es posible generar infinitos escenarios, variando cada uno de los parámetros en algunas cantidad definida, los aquí propuestos corresponden a situaciones extremas. La variación de la demanda es un fenómeno perfectamente factible, tanto de forma positiva, como de forma negativa, así como los costos del modelo, quienes al mejorar las negociaciones de los jugadores podrían disminuir, o aumentar al desarrollar operaciones ineficientes.

#### **Escenario 1.**

En este escenario los parámetros del modelo corresponden a los estimados, las condiciones encontradas en las 4 empresas no sufren variaciones, el escenario corresponde al estado actual. Los parámetros se presentan en la *Tabla 25*.

#### **Escenario 2.**

Aumento de la demanda, con un corrimiento de 2 desviaciones estándar a la derecha de la media actual de cada una de las empresas. Los demás parámetros permanecen constantes, este escenario podría considerarse optimista, ver *Tabla 26*.

Tabla 25: Parámetros para el Escenario 1

PARÁMETRO	EMPRESA 1	EMPRESA 2	EMPRESA 3	EMPRESA 4
<i>Demanda (<math>D_i</math>)</i>	1332	663	1461	1565
<i>Costo Ind (<math>S_i</math>)</i> <sup>5</sup>	\$ 3.899,90	\$ 3.092,92	\$ 3.144,69	\$ 4.417,42
<i>Costo Menor (CJRP) (<math>S'_i</math>)</i>	\$ 1.068,06	\$ 218,73	\$ 683,63	\$ 518,88
<i>Holding Cost (<math>h_i</math>)</i>	1,04	1,34	0,55	0,30
<i>Holding Cost CJRP (<math>h'_i</math>)</i>	0,81	0,81	0,81	0,81
<i>Vol Unitario (<math>w_i</math>)</i> <sup>6</sup>	0,06	0,096	0,096	0,06
<i>Nivel de servicio</i>	90%	95%	95%	95%
$Z_\infty$	1,28	1,64	1,64	1,64
<i>Desviación (<math>\sigma_i</math>)</i>	186,25	100,7	192,9	293,7
<i>Lead Time (<math>Lt</math>)</i>	0,02 años	0,039 años	0,029 años	0,039 años
<i>Cap Almacén (<math>b_i</math>)</i> <sup>7</sup>	50 mts3	90 mts3	47 mts3	70 mts3
<i>Cap Transporte (<math>W</math>)</i>	58 mts3			
<i>Capacidad Máxima Bodega (<math>B</math>)</i> <sup>8</sup>	189 mts3			
<i>Costo Mayor CJRP (<math>S</math>)</i>	\$ 2.750			
<i>Costo transporte (<math>t_i</math>)</i>	\$ 2.990			

Tabla 26: Parámetros para el Escenario 2

PARÁMETRO	EMPRESA 1	EMPRESA 2	EMPRESA 3	EMPRESA 4
<i>Demanda (<math>D_i</math>)</i>	1706	865	1847	2153
<i>Costo Mayor Ind (<math>S_i</math>)</i>	\$ 3.899,90	\$ 3.092,92	\$ 3.144,69	\$ 4.417,42
<i>Costo Menor (CJRP) (<math>S'_i</math>)</i>	\$ 1.068,06	\$ 218,73	\$ 683,63	\$ 518,88
<i>Holding Cost (<math>h_i</math>)</i>	1,04	1,34	0,55	0,30
<i>Holding Cost CJRP (<math>h'_i</math>)</i>	0,81	0,81	0,81	0,81
<i>Vol Unitario (<math>w_i</math>)</i>	0,06	0,096	0,096	0,06
<i>Nivel de servicio</i>	90%	95%	95%	95%
$Z_\infty$	1,28	1,64	1,64	1,64
<i>Desviación (<math>\sigma_i</math>)</i>	186,25	100,7	192,9	293,7
<i>Lead Time (<math>Lt</math>)</i>	0,02 años	0,039 años	0,029 años	0,039 años
<i>Cap Almacén (<math>b_i</math>)</i>	50 mts3	90 mts3	47 mts3	70 mts3
<i>Cap Transporte (<math>W</math>)</i>	68 mts3			
<i>Capacidad Máxima Bodega (<math>B</math>)</i>	245 mts3			
<i>Costo Mayor CJRP (<math>S</math>)</i>	\$ 2.750			

<sup>5</sup> El costo Mayor de pedir Individual corresponde al costo de pedir cuando los jugadores actúan de forma individual.

<sup>6</sup> El volumen unitario corresponde al volumen por caja, para la Empresa 1, 2, 3 y 4 cada caja tiene capacidad para 32, 40, 40 y 67 unidades respectivamente.

<sup>7</sup> La capacidad del almacén o de bodega corresponde a la capacidad máxima que tiene cada una de las empresas para guardar los productos que ofrece (Sólo se considera en el cálculo de la mejor política individual).

<sup>8</sup> La capacidad máxima de bodega se calcula mediante la siguiente expresión:  $\sum_{i=1}^N D_i / 2$

Costo transporte ( $t_i$ )	\$ 2.990
----------------------------	----------

### Escenario 3.

Disminución de la demanda, con un corrimiento de 2 desviaciones estándar a la izquierda de la media actual de cada una de las empresas, manteniendo constantes el resto de parámetros. Este escenario podría considerarse pesimista, ver tabla *Tabla 27*.

**Escenario 4:** La demanda de las empresas permanece constante, pero los costos de pedir y mantener inventarios se incrementan en un 30% al igual que la fracción “h”. El resto de los parámetros permanecen constantes, ver *Tabla 28*.

*Tabla 27: Parámetros para el Escenario 3*

PARÁMETRO	EMPRESA 1	EMPRESA 2	EMPRESA 3	EMPRESA 4
<i>Demanda (<math>D_i</math>)</i>	958	461	1075	977
<i>Costo Mayor Ind (<math>S_i</math>)</i>	\$ 3.899,90	\$ 3.092,92	\$ 3.144,69	\$ 4.417,42
<i>Costo Menor (CJRP) (<math>S'_i</math>)</i>	\$ 1.068,06	\$ 218,73	\$ 683,63	\$ 518,88
<i>Holding Cost (<math>h_i</math>)</i>	1,04	1,34	0,55	0,30
<i>Holding Cost CJRP (<math>h'_i</math>)</i>	0,81	0,81	0,81	0,81
<i>Vol Unitario (<math>w_i</math>)</i>	0,06	0,096	0,096	0,06
<i>Nivel de servicio</i>	90%	95%	95%	95%
$Z_\infty$	1,28	1,64	1,64	1,64
<i>Desviación (<math>\sigma_i</math>)</i>	186,25	100,7	192,9	293,7
<i>Lead Time (<math>Lt</math>)</i>	0,02 años	0,039 años	0,029 años	0,039 años
<i>Cap Almacén (<math>b_i</math>)</i>	50 mts3	90 mts3	47 mts3	70 mts3
<i>Cap Transporte (<math>W</math>)</i>	68 mts3			
<i>Capacidad Máxima Bodega (<math>B</math>)</i>	133 mt3			
<i>Costo Mayor CJRP (<math>S</math>)</i>	\$ 2.750			
<i>Costo transporte (<math>t_i</math>)</i>	\$ 2.990			



Tabla 28: Parámetros para el Escenario 4

PARÁMETRO	EMPRESA 1	EMPRESA 2	EMPRESA 3	EMPRESA 4
<i>Demanda (<math>D_i</math>)</i>	1332	663	1461	1565
<i>Costo Mayor Ind (<math>S_i</math>)</i>	\$ 3.899,90	\$ 3.092,92	\$ 3.144,69	\$ 4.417,42
<i>Costo Menor (CJRP) (<math>S'_i</math>)</i>	\$ 1.388,48	\$ 284,34	\$ 888,72	\$ 674,55
<i>Holding Cost (<math>h_i</math>)</i>	1,04	1,34	0,55	0,30
<i>Holding Cost CJRP (<math>h'_i</math>)</i>	1,05	1,05	1,05	1,05
<i>Vol Unitario (<math>w_i</math>)</i>	0,06	0,096	0,096	0,06
<i>Nivel de servicio</i>	90%	95%	95%	95%
$Z_\infty$	1,28	1,64	1,64	1,64
<i>Desviación (<math>\sigma_i</math>)</i>	186,25	100,7	192,9	293,7
<i>Lead Time (<math>Lt</math>)</i>	0,02 años	0,039 años	0,029 años	0,039 años
<i>Cap Almacén (<math>b_i</math>)</i>	50 mts3	90 mts3	47 mts3	70 mts3
<i>Cap Transporte (<math>W</math>)</i>	68 mts3			
<i>Capacidad Máxima Bodega (<math>B</math>)</i>	189 mt3			
<i>Costo Mayor CJRP (<math>S</math>)</i>	\$ 3.575			
<i>Costo transporte (<math>t_i</math>)</i>	\$ 3.887			

**Escenario 5:** La demanda de las empresas permanece constante, pero los costos de pedir y mantener inventarios disminuyen en 30% al igual que la fracción “h”. El resto de los parámetros permanecen constantes.

Tabla 29: Parámetros para el Escenario 5

PARÁMETRO	EMPRESA 1	EMPRESA 2	EMPRESA 3	EMPRESA 4
<i>Demanda (<math>D_i</math>)</i>	1332	663	1461	1565
<i>Costo Mayor Ind (<math>S_i</math>)</i>	\$ 3.899,90	\$ 3.092,92	\$ 3.144,69	\$ 4.417,42
<i>Costo Menor (CJRP) (<math>S'_i</math>)</i>	\$ 747,64	\$ 153,11	\$ 478,54	\$ 363,22
<i>Holding Cost (<math>h_i</math>)</i>	1,04	1,34	0,55	0,30
<i>Holding Cost CJRP (<math>h'_i</math>)</i>	0,57	0,57	0,57	0,57
<i>Vol Unitario (<math>w_i</math>)</i>	0,06	0,096	0,096	0,06
<i>Nivel de servicio</i>	90%	95%	95%	95%
$Z_\infty$	1,28	1,64	1,64	1,64
<i>Desviación (<math>\sigma_i</math>)</i>	186,25	100,7	192,9	293,7
<i>Lead Time (<math>Lt</math>)</i>	0,02 años	0,039 años	0,029 años	0,039 años
<i>Cap Almacén (<math>b_i</math>)</i>	50 mts3	90 mts3	47 mts3	70 mts3
<i>Cap Transporte (<math>W</math>)</i>	68 mts3			
<i>Capacidad Máxima Bodega (<math>B</math>)</i>	189 mt3			
<i>Costo Mayor CJRP (<math>S</math>)</i>	\$ 1.925			
<i>Costo transporte (<math>t_i</math>)</i>	\$ 2.093			

#### 4.2.4 ANÁLISIS DE LAS POLÍTICAS RESULTANTES

Las políticas diseñadas a partir del modelo CJRP requieren fundamentalmente de 3 variables: un tamaño de lote para cada familia de producto ( $Q_i$ ), un ciclo básico de tiempo ( $T$ ) y los múltiplos enteros de  $T$  ( $k_i$ ), que indican las agrupaciones de reabastecimiento. Por ejemplo en la *Tabla 30* en el Escenario 1, el tamaño de lote más eficiente encontrado corresponde a 666,5 unidades para la Empresa 1, mientras que para las empresas 2, 3 y 4 los tamaños de lotes son 331,7- 731 y 783,1 respectivamente. Estas empresas deben incluir sus familias de productos en todos los envíos que se realicen, ya que los correspondientes valores de  $k$  son todos iguales a 1, un valor distinto de  $k$ , por ejemplo 2 implicaría un reabastecimiento cada dos envíos. Finalmente la política se completa con el ciclo básico de tiempo, que para este escenario corresponde a 0,5, es decir que se realizaran dos envíos por año, donde todos los productos serán incluidos. El hecho de que los  $T$  encontrados sean muy parecidos, y los  $k$  iguales, pueden interpretarse como una medida de robustez, pues ante cambios importantes en la demanda y el costo, la política de inventarios permanece casi invariante, un cambio en los  $k$ , podría darse si el espacio de bodega se reduce o el costo menor de pedir cambia drásticamente.

*Tabla 30: Tamaños de lote y frecuencia de envío para los 5 escenarios evaluados.*

	<i>Q1</i>	<i>Q2</i>	<i>Q3</i>	<i>Q4</i>	<i>K1</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K4</i>	<i>T</i>
<i>Escenario 1</i>	666,5	331,7	731,0	783,1	1	1	1	1	0,5004
<i>Escenario 2</i>	655,5	332,4	709,7	827,2	1	1	1	1	0,3842
<i>Escenario 3</i>	687,0	330,6	770,9	700,6	1	1	1	1	0,7171
<i>Escenario 4</i>	666,5	331,7	731,0	783,1	1	1	1	1	0,5004
<i>Escenario 5</i>	666,5	331,7	731,0	783,1	1	1	1	1	0,5004

Las políticas resultantes sólo tendrán sentido si los participantes encuentran un beneficio económico al aplicarlas, para cada uno de los escenarios se determinó el ahorro que tendrían los participantes por hacer parte de la coalición propuesta. Este ahorro no es más que la diferencia porcentual que existe al comparar la mejor política de reabastecimiento individual y la asignación de costos que se obtiene mediante la fórmula de Shapley. Por ejemplo para el Escenario 1, todos los jugadores (Empresas), obtienen beneficios superiores al 25%, es decir que si deciden coludir formando la coalición (*Tabla 31*). Los resultados obtenidos son consistentes con los encontrados en la experimentación computacional realizada en la sección 4.1 y disponibles en la *Tabla 15*. Donde el ahorro promedio luego de realizar 2.000 problemas, con diferentes cantidades de producto fue de 28,7%, en el caso de experimentación con 4 jugadores, cada uno con una familia de producto; el resultado promedio fue de 27,5, mientras que el promedio del caso de estudio fue de 32,5, un resultado considerablemente cercano.

El escenario actual resulta prometedor, dados los ahorros esperado por cada jugador, pero en un enfoque pesimista, el ahorro obtenido por el Escenario 4, no sería considerable, dado que la Empresa 2 sólo tendría un ahorro del 4,6%, lo que representa sólo 161 USD al año. Si esta empresa decidiera abandonar la coalición, los ahorros encontrados no serían los indicados en la *Tabla 31*, en ese caso sería necesario recalcular la coalición con tan sólo 3 Jugadores.

Los Escenarios 2 y 3 a pesar de las variaciones de la demanda inducidas, siguen siendo rentables, lo que podría indicar que el modelo es poco sensible a las variaciones de la demanda, por ejemplo en el Escenario 3, la empresa 4, tienen un ahorros de 57% con una demanda menor, un ahorro mayor al conseguido en el estado actual (Escenario 1) y el Escenario 2 donde se aumentó la demanda, este fenómeno fue explicado en la sección 4.1.1. Actuando de forma independiente, la empresa 1, tendría que promediar sus costos fijos entre un menor número de productos, mientras que si une recursos con las empresas restantes su costo disminuye notablemente, pasando de 6.667,5 USD a tan sólo 1850,7 USD anuales (ver *Tabla 32*).

Considerando la dinámica del mercado, todos los escenarios son posibles, sin embargo suponiendo que periódicamente el mercado asuma alguna de estos estados, o algún estado intermedio, el ahorro promedio para las empresas sería de 32,5%.

*Tabla 31: Ahorros y asignaciones de costos encontrados para los 5 escenarios (USD)*

	<i>Ah J1</i>	<i>Ah J2</i>	<i>Ah J3</i>	<i>Ah J4</i>	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\varphi_4$	<i>TC(T,Ki)</i>
<i>Escenario 1</i>	26,7%	25,8%	33,4%	38,8%	\$ (5.032,2)	\$ (2.624,0)	\$ (6.408,1)	\$ (4.080,5)	\$ (18.144,8)
<i>Escenario 2</i>	29,8%	14,9%	32,8%	39,8%	\$ (6.034,1)	\$ (3.715,1)	\$ (8.129,4)	\$ (5.445,6)	\$ (23.324,1)
<i>Escenario 3</i>	23,8%	24,9%	31,5%	57,0%	\$ (3.925,5)	\$ (2.046,4)	\$ (4.907,3)	\$ (1.850,7)	\$ (12.729,8)
<i>Escenario 4</i>	8,8%	4,6%	26,1%	21,5%	\$ (5.530,4)	\$ (3.862,4)	\$ (8.128,9)	\$ (6.038,6)	\$ (21.977,2)
<i>Escenario 5</i>	43,6%	55,7%	48,9%	60,8%	\$ (6.261,0)	\$ (3.375,2)	\$ (7.108,3)	\$ (5.232,7)	\$ (12.968,3)
<b><i>Promedio</i></b>	26,5%	25,2%	34,5%	43,6%	\$ (5.356,62)	\$ (3.124,61)	\$ (6.936,41)	\$ (4.529,61)	\$ (17.828,85)

La *Tabla 32* resume los resultados de todas las funciones características calculadas bajo los 5 escenarios evaluados, por ejemplo la función  $v(J1)$  indica el valor que obtendría el Jugador 1 actuando de forma independiente, mientras que la función  $v(J1, J2, J3, J4)$  indica las asignaciones que cada jugador tendría al formar la coalición compuesta por todos los jugadores. Considerando todos los escenarios, es evidente que actuar de forma conjunta favorece los interés económicos de las empresas, en caso de situaciones adversas como las previstas por los Escenarios 3 y 4, los efectos en el costo son notorios actuando de forma independiente, por ejemplo la empresa 3, en el Escenario 3, debería tener costos de 7.160,6 USD, pero al sufrir el efecto del cambio del mercado de forma conjunta, sólo incurriría en 4.907,3 USD.

Tabla 32: Funciones características resultantes de los 5 escenarios

Vr Func Característica	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
v(J1)	\$ 6.866,0	\$ 8.593,8	\$ 5.150,4	\$ 6.866,0	\$ 6.866,0
v(J2)	\$ 3.536,9	\$ 4.365,3	\$ 2.725,6	\$ 3.536,9	\$ 3.536,9
v(J3)	\$ 9.623,8	\$ 12.092,5	\$ 7.160,5	\$ 9.623,8	\$ 9.623,8
v(J4)	\$ 6.667,5	\$ 9.047,9	\$ 4.301,1	\$ 6.667,5	\$ 6.667,5
v(J1,J2)	\$ 10.274,1	\$ 12.821,0	\$ 7.412,4	\$ 12.815,6	\$ 7.206,4
v(J1,J3)	\$ 13.867,8	\$ 18.628,4	\$ 11.520,8	\$ 16.454,2	\$ 10.364,4
v(J2,J3)	\$ 12.898,4	\$ 15.851,7	\$ 10.450,6	\$ 13.881,4	\$ 9.035,3
v(J1,J4)	\$ 11.411,3	\$ 14.497,2	\$ 8.989,0	\$ 14.893,6	\$ 9.720,7
v(J2,J4)	\$ 10.817,9	\$ 14.970,0	\$ 7.050,7	\$ 12.599,6	\$ 7.048,8
v(J3,J4)	\$ 12.820,4	\$ 15.664,8	\$ 8.593,9	\$ 14.495,6	\$ 8.265,7
v(J1,J2,J3)	\$ 15.915,5	\$ 20.136,2	\$ 13.757,6	\$ 18.283,3	\$ 11.802,7
v(J1,J2,J4)	\$ 14.157,5	\$ 17.635,7	\$ 10.413,0	\$ 17.034,0	\$ 9.167,5
v(J1,J3,J4)	\$ 16.624,9	\$ 19.900,3	\$ 11.735,1	\$ 19.379,3	\$ 10.942,7
v(J2,J3,J4)	\$ 13.510,9	\$ 18.323,9	\$ 10.026,8	\$ 16.484,4	\$ 9.345,5
v(J1,J2,J3,J4)	\$ 18.144,8	\$ 23.324,1	\$ 12.729,8	\$ 21.977,2	\$ 12.968,3

### 4.3 CONCLUSIONES FINALES

En esta investigación se dio solución a un problema de inventario de la vida real, mediante una extensión del modelo clásico de reabastecimiento conjunto “JRP”, el autor denominó esta ampliación como el “CJRP” (Collaborative Joint Replenishment Problem por sus siglas en inglés) este modelo difiere del clásico en dos aspectos: el primero de ellos es que considera la demanda estocástica, y el segundo consiste en que se tienen en cuenta restricciones como; la capacidad de almacenamiento y la capacidad de carga de las unidades de transporte, por su parte el modelo clásico considera demanda determinística y es irrestricto. Adicionalmente se considera el uso de prácticas colaborativas, incorporando la necesidad de asignar los beneficios obtenidos mediante el Valor de Shapley. Las coaliciones deben cumplir con la condición de tener cargas compatibles, además deben poder ser embaladas y unitarizadas en formas preferiblemente regulares, minimizando la pérdida de espacio en contenedores por irregularidades y sobredimensionamiento de la forma.

En definitiva el “JRP” es un problema con real aplicación, tal como habían previsto Khouja & Goyal (2008) quienes además señalan que a pesar de la importancia práctica del problema; existen pocas publicaciones disponibles, idea que es reforzada por otros autores como Olsen (2005a) y Nilsson et al (2007). El modelo es la base para el diseño de políticas de gestión de inventarios eficientes, en contraste con las regularmente implementadas, donde las empresas actúan de forma independiente. Usualmente la configuración de estas cadenas de suministro, están compuestas por un proveedor, un operador logístico, una sociedad intermediadora aduanera y el cliente. Por su parte, el modelo colaborativo propuesto, implican una integración horizontal de cadenas de suministro. En estas redes, uno o varios proveedores envían sus cargas a un punto de consolidación, donde la carga es gestionada y enviada a un puerto destino en cercanías a los participantes o jugadores, quienes emplean los servicios de una única sociedad intermediadora aduanera para completar los procesos de legalización. Los costos fijos, inherentes al manejo y gestión de inventarios son compartidos entre los jugadores, los espacios de bodega y por su puesto sus costos son asignados de forma “Justa” entre los jugadores.

Esta asignación de costos, fue modelada mediante los trabajos hechos por Shapley (1953a), quien garantiza mediante el cálculo del “Valor de Shapley” asignaciones pertenecientes al núcleo del juego (juego cooperativo) los cuales inducen estabilidad coalicional, de esta manera no existe razón suficiente para que ninguno de los jugadores abandone la coalición y forme otra, el beneficio que recibe cada jugador es el máximo que puede recibir sin afectar la satisfacción de los otros, en otras palabras, las asignaciones de Shapley son las mejores que pueden darse en una coalición.

Las pruebas computacionales hechas, confirman que las prácticas colaborativas en inventarios traen consigo beneficios económicos sustanciales. Se simularon múltiples escenarios; variando los parámetros de costo, demanda, volumen unitario y demás sección (Sección 4.1), encontrando como resultado beneficios en todos los casos; con un ahorro promedio de 28,7% en contraste con el método de envío regular o independiente. El mínimo encontrado fue de 18,1% y máximo de 44,4. Así mismo, se desarrolló un caso de estudio con 4 empresas, considerando las condiciones reales del Departamento del Atlántico (sección 4.2), y se comprobó que sin importar los cambios que se den lugar en las condiciones del mercado, el modelo favorece el beneficio económico de los jugadores. En esta sección se pusieron a prueba escenarios pesimistas y optimistas, y se obtuvo como resultado ahorros en costos logísticos con un promedio del 32,5% con respecto a la actuación individual de los jugadores, en algunos escenarios los jugadores no obtuvieron beneficios sustanciales, sin embargo a largo plazo el modelo permanece sostenible, porque permite afrontar situaciones adversas de manera menos dramática para los participantes; en situaciones de escasez de demanda o aumento de costos, los jugadores siguen obteniendo beneficios porque son apalancados por otros, pero en momentos de alta demanda o bajos costos pueden obtener mejores beneficios.

La primera contribución de esta investigación, es la estructura de estimación de costos propuesta (sección 3.2 ) para calcular los costos de pedir y mantener inventarios. La cual fue necesaria para parametrizar el modelo matemático del CJRP (sección 3.3), a pesar de que los inductores de costos relacionados han sido discutidos por múltiples autores (Ballou, 2004; Sunil Chopra & Meindl, 2013; Silver et al., 1998; Simchi-Levi et al., 2003) no existe una estructura que facilite la estimación de estos parámetros, ni siquiera son provistos por el modelo SCOR ® (Supply Chain Council, 2010) dado su objetivo de estandarización de los procesos logísticos. No se conoce la razón de la falta de este tipo de reportes, pero puede estar relacionado con el hecho de que en los últimos 40 años la preocupación de los investigadores ha sido el desarrollo de políticas de inventarios óptimas, llegando a su punto de saturación (Khouja & Goyal, 2008), y poco se ha hecho en casos prácticos o reales . En la práctica la estructura resultó ser adecuada y eficiente, sobre todo por su versatilidad y facilidad de aplicación.

Una segunda contribución está relacionada con el procedimiento de solución del CJRP, el cual implicó la adaptación y ampliación de los procedimientos realizados por Moon & Cha (2006) quienes propusieron una heurística para solucionar el JRP restringido y con demanda determinística. Por otra parte la estocasticidad de la demanda dificulta el cálculo de la variable; periodo de reabastecimiento o " $T$ ", sin embargo el problema fue resuelto mediante el uso de la aproximación del orden del 98% desarrollada por Eynan & Kropp (1998) quienes habían propuesto una heurística para dar solución al problema, pero computacionalmente restrictiva. El modelo en su conjunto, implica el cálculo del Valor de Shapley, por lo que fue necesario desarrollar una integración entre la heurística que soluciona el modelo matemático de inventarios y dicha fórmula, dando como resultado una nueva heurística que da solución al CJRP.

La asignación de costos logísticos realizado mediante el valor de Shapley, es en sí misma una contribución, puesto que el método regularmente usado consiste en asignar costos según el volumen de carga transportado. No obstante, en la sección 4.1 se discutió acerca de que estas soluciones no garantizan equilibrio, por lo tanto existirán razones suficientes para disolver las coaliciones propuestas. El valor de Shapley por su parte, considera la contribución marginal de cada jugador para reducir costos, y de esta manera asigna beneficios. Además de entregar estabilidad, ofrece la oportunidad a los jugadores con gran volumen de carga a recibir una compensación más justa.

No obstante, una contribución de tipo práctica es el modelo logístico propuesto basado en colaboración, el cual demostró ser atractivo por la magnitud de los ahorros que pueden alcanzarse (28,7% en promedio). Constituye una clara oportunidad para los tomadores de decisiones en las empresas para mejorar su productividad, el modelo puede ser ampliado fácilmente para integrar múltiples restricciones y es escalable (sección 3.4.1.2). Las políticas generadas a partir de estos modelos, resultan viables sólo si existe la voluntad de los

jugadores para compartir la información necesaria, aportar el dinero requerido y respetar los cronogramas de importación que las políticas sugieren, tal como ya había mencionado Arango Serna et al (2013).

Durante el desarrollo de la investigación, se identificaron dos limitaciones: la primera de ellas referente a la conformación de las familias de producto; si bien es cierto en el caso de estudio los productos que conformaron las familias son homogéneos (con una demanda, volumen y costo similar), podría presentarse el caso donde no lo fueran; por tanto, la formación de las familias de producto podría obedecer a algún criterio distinto, por ejemplo la importancia relativa según su demanda, sin importar la forma o volumen. En este caso, se generaría una implicación importante a la hora de determinar la conformación de lotes de reabastecimiento ya que sería necesario resolver previamente el cubicaje de los contenedores, de forma que se enfrenta mayor complejidad pero se amplía el alcance del problema. Dicho cubicaje se conoce en la literatura como el *problema de la mochila* o *knapsack problem* por su traducción del inglés (Chu & Beasley, 1998; Martello & Toth, 1990). La otra limitación encontrada corresponde a la selección del número de jugadores determinados para conformar las coaliciones. En el trabajo se han considerado 4, atendiendo el criterio de opiniones de empresarios de trayectoria y experiencia; sin embargo, hubiera sido más correcto determinar matemáticamente el número idóneo de jugadores a participar en una coalición.

Finalmente, se lograron vislumbrar dos oportunidades para el desarrollo de futuras investigaciones: una de ellas consiste en incorporar múltiples objetivos al modelo matemático; la dinámica real de las políticas de inventario podría exigir en algunos casos dar mayor importancia a otros factores que al costo, por ejemplo: el tiempo, la flexibilidad o el nivel de servicio. Por otra parte, en esta investigación se consideró un número fijo de jugadores, en tal caso es adecuado aplicar el valor de Shapley que ofrece a través de sus axiomas soluciones que pertenecen al núcleo del juego, de esta forma la estabilidad de la coalición queda garantizada. Sin embargo, cuando existe una cantidad importante de jugadores compatibles entre sí, y además se restringe el número de jugadores, debe solucionarse el problema de encontrar las mejores sub-coaliciones posibles, satisfaciendo cada uno de los jugadores y garantizando equilibrio en el sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aksoy, Y., & Erenguc, S. S. (1988). Multi-Item Inventory Models with Co-ordinated Replenishments: A Survey. *International Journal of Operations & Production Management*, 8(1), 63–73. <http://doi.org/10.1108/eb054814>
- Amaya, R., Barbosa, R., Borrero, A., Ching, K., Gómez, L., González, S., ... Oyola, J. (2017). *Intervención sobre Prácticas Integrativas en el Clúster de Logística del Atlántico: Cadenas Logísticas De Comercio Exterior*. (R. Amaya, Ed.) (Primera Ed). Barranquilla, Colombia: Ediciones Uninorte (en Revisión).
- Arango Serna, M. D., Adarme Jaimes, W., & Zapata Cortés, J. A. (2013). Inventarios Colaborativos En La Optimización De La Cadena De Suministros. *DYNA: Revista de La Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, 80(181), 71–80. Retrieved from <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/viewFile/37629/42259>
- Arkin, E., Joneja, D., & Roundy, R. (1989). Computational complexity of uncapacitated multi-echelon production planning problems. *Operations Research Letters*, 8(2), 61–66. [http://doi.org/10.1016/0167-6377\(89\)90001-1](http://doi.org/10.1016/0167-6377(89)90001-1)
- Ballou, R. H. (2004). *Lógica, Administración de la Cadena de suministro*. Pearson Educación. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Banco Interamericano de Desarrollo, D. de T. (2014). *Índice de gastos logísticos*. Retrieved from <http://logisticsportal.iadb.org/node/4210>
- Banco Mundial. (2016a). Doing Business - Midiendo Regulaciones para Hacer Negocios: Comercio Transfronterizo.
- Banco Mundial, C. F. I. (2007a). *Doing Business en Colombia 2008*. Washington, D.C.
- Banco Mundial, C. F. I. (2007b). *Reporte Doing Business 2007*. Washington. Retrieved from <http://espanol.doingbusiness.org/reports/global-reports/doing-business-2007>
- Banco Mundial, C. F. I. (2016b). *Comercio transfronterizo - Doing Business - Banco Mundial*. Washington. Retrieved from [espanol.doingbusiness.org/Methodology/Trading-Across-Borders](http://espanol.doingbusiness.org/Methodology/Trading-Across-Borders)
- Bartholdi, J., & Kemahlioglu-Ziya, E. (2005). Using Shapley Value to Allocate Savings in A Supply Chain. *Supply Chain Optimization*, 169–208. Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1007/0-387-26281-4\\_6](http://dx.doi.org/10.1007/0-387-26281-4_6)
- Bayindir, Z. P., Birbil, I., & Frenk, J. B. G. (2006). The joint replenishment problem with variable production costs. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 622–640. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.06.005>
- Ben-Khedher, N., & Yano, C. A. (1994). The Multi-Item Joint Replenishment Problem with Transportation and Container Effects. *Transportation Science*, 28(1), 37–54. <http://doi.org/10.1287/trsc.28.1.37>
- Cachon, G. P., & Netessine, S. (2006). Game theory in supply chain analysis. *Tutorials in Operations Research: Models, Methods, and Applications for Innovative Decision Making*, 1–34. <http://doi.org/10.1287/educ.1053.0000>
- Chen, T. H., & Chen, J. M. (2005). Optimizing supply chain collaboration based on joint replenishment and channel coordination. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(4), 261–285. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2004.06.003>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2006). Supply Chain Performance: Achieving Strategic Fit And Scope. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operations*, 22–42.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Chu, P. C., & Beasley, J. E. (1998). A Genetic Algorithm for the Multidimensional Knapsack Problem. *Journal of Heuristics*, 4(1), 63–86. <http://doi.org/10.1023/A:1009642405419>
- Coe, N. M., Dicken, P., & Hess, M. (2008). Global production networks: realizing the potential. *Journal of Economic Geography*, 8(3), 271–295. <http://doi.org/10.1093/jeg/lbn002>
- CONPES 3527. (2008). Política Nacional de Competitividad y Productividad. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación.
- Dagpunar, J. S. (1982). Formulation of a Multi Item Single Supplier Inventory Problem. *Journal of the*



- Operational Research Society*, 33(3), 285–286. <http://doi.org/10.1057/jors.1982.59>
- Disney, S. M., & Towill, D. R. (2003). *Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two-level supply chain*. *International Journal of Operations & Production Management* (Vol. 23). <http://doi.org/10.1108/01443570310476654>
- Doing Business Blog. (2012). About Doing Business.
- Edgeworth, F. (1881). *Mathematical Psychics*. Kegan P. Londres.
- Eijs, M. Van, Heuts, R., & Kleijnen, J. (1992). Analysis and comparison of two strategies for multi-item inventory systems with joint replenishment costs. *European Journal of Operational Research*. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037722179290197H>
- Eynan, A., & Kropp, D. H. (1998). Periodic review and joint replenishment in stochastic demand environments. *IIE Transactions*, 30(11), 1025–1033. <http://doi.org/10.1023/A:1007503629054>
- García, O., & León, Ó. (1999). Administración financiera fundamentos y aplicaciones. *Impreso En Medellín*. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UNIBA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=003938>
- Gillies, D. (1959). Solutions to general non-zero-sum games. *Contributions to the Theory of Games*. Retrieved from <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=9ISVFzsTGWsC&oi=fnd&pg=PA47&dq=gillies+1959&ots=P0PBgGM-qF&sig=IKL31vMzpqKE0nRxM1iJ0poz9EY>
- Goyal, S. (1974). Determination of Optimum Packaging Frequency of Items Jointly Replenished. *Management Science*, 21(4), 436–443. <http://doi.org/10.1287/mnsc.21.4.436>
- Goyal, S. (1975). Analysis of Joint Replenishment Inventory Systems with Resource Restriction. *Journal of the Operational Research Society*, 26(S1), 197–203. <http://doi.org/10.1057/jors.1975.42>
- Goyal, S., & A. B. (1979). On A Simple Method of Determining Order Quantities in Joint Replenishments under Deterministic Demand. *Management Science*, (604–604.).
- Goyal, S., & Satir, A. T. (1989). Joint replenishment inventory control: Deterministic and stochastic models. *European Journal of Operational Research*. [http://doi.org/10.1016/0377-2217\(89\)90463-3](http://doi.org/10.1016/0377-2217(89)90463-3)
- Granot, D., & Sošić, G. (2003). A Three-Stage Model for a Decentralized Distribution System of Retailers. *Operations Research*, 51(5), 771–784. <http://doi.org/10.1287/opre.51.5.771.16749>
- Guercini, S., & Runfolà, A. (n.d.). Sourcing Strategies in Clothing Retail Firms: Product Complexity versus Overseas Supply Chain.
- Hariga, M. (1994). Two New Heuristic Procedures for Joint the Replenishment Problem. *Palgrave Macmillan Journals on Behalf of the Operational Research Society*, 45(4), 463–471.
- Hess, M., Wai, H., & Yeung, -Chung. (2006). Whither Global Production Networks in Economic Geography? Past, Present and Future. *Forthcoming in Environment and Planning A*, 38.
- Hoque, M. A. (2006). An optimal solution technique for the joint replenishment problem with storage and transport capacities and budget constraints. *European Journal of Operational Research*, 175(2), 1033–1042. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.06.022>
- Johansen, S. G., & Melchior, P. (2003). Can-order policy for the periodic-review joint replenishment problem. *Journal of the Operational Research Society*, 54(3), 283–290. <http://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601499>
- Kaspi, M., & Rosenblatt, M. (1983). An improvement of Silver's algorithm for the joint replenishment problem. *AIE Transactions*. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/05695558308974644>
- Kaspi, M., & Rosenblatt, M. J. (1991). On the economic ordering quantity for jointly replenished items. *International Journal of Production Research*, 29(1), 107–114. <http://doi.org/10.1080/00207549108930051>
- KASPI, M., & ROSENBLATT, M. J. (1985). The effectiveness of heuristic algorithms for multi-item inventory systems with joint replenishment costs. *International Journal of Production Research*, 23(1), 109–116. <http://doi.org/10.1080/00207548508904694>
- Khouja, M., & Goyal, S. (2008). A review of the joint replenishment problem literature: 1989-2005. *European Journal of Operational Research*, 186(1), 1–16.

- Khouja, M., Michalewicz, Z., & Satoskar, S. S. (2000). A comparison between genetic algorithms and the RAND method for solving the joint replenishment problem. *Production Planning & Control*, 11(6), 556–564. <http://doi.org/10.1080/095372800414115>
- Lee, F., & Yao, M. (2003). A global optimum search algorithm for the joint replenishment problem under power-of-two policy. *Computers & Operations Research*. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054802000734>
- Martello, S., & Toth, P. (1990). *Knapsack problems: algorithms and computer implementations*. J. Wiley & Sons.
- Moon, I. K., & Cha, B. C. (2006). The joint replenishment problem with resource restriction. *European Journal of Operational Research*, 173(1), 190–198. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.11.020>
- Myerson, R. B. (1991). *Game theory: analysis of conflict*. Harvard University.
- Neumann, L. J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior*. Retrieved from [http://www.mtas.ru/search/search\\_results.php?publication\\_id=20032](http://www.mtas.ru/search/search_results.php?publication_id=20032)
- Nilsson, A., Segerstedt, A., & van der Sluis, E. (2007). A new iterative heuristic to solve the joint replenishment problem using a spreadsheet technique. *International Journal of Production Economics*, 108(1–2), 399–405. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.12.022>
- Nilsson, A., & Silver, E. A. (2007). A simple improvement on Silver's heuristic for the joint replenishment problem. *Journal of the Operational Research Society*, 59(10), 1415–1421. <http://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602446>
- Olsen, A. (2005). An evolutionary algorithm to solve the joint replenishment problem using direct grouping. *Computers & Industrial Engineering*.
- Organización Mundial de Comercio. (1998). *Informe Anual*. Retrieved from [https://www.wto.org/spanish/res\\_s/booksp\\_s/anrep\\_s/anre98\\_s.pdf](https://www.wto.org/spanish/res_s/booksp_s/anrep_s/anre98_s.pdf)
- Porras, E., & Dekker, R. (2006). An efficient optimal solution method for the joint replenishment problem with minimum order quantities. *European Journal of Operational Research*, 174(3), 1595–1615. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.02.056>
- Porter, M. (1996). Competitive advantage, agglomeration economies, and regional policy. *International Regional Science Review*. Retrieved from <http://irx.sagepub.com/content/19/1-2/85.short>
- Porter, M. (2000). Location, competition, and economic development: Local clusters in a global economy. *Economic Development Quarterly*. Retrieved from <http://edq.sagepub.com/content/14/1/15.short>
- Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and sustaining superior performance*. The Free Press. <http://doi.org/10.1182/blood-2005-11-4354>
- Pramatari, K., & Miliotis, P. (2008). The impact of collaborative store ordering on shelf availability. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(1), 49–61. <http://doi.org/10.1108/13598540810850319>
- Procolombia. (2015). Matriz de Costos de D.F.I. por Modalidad de Transporte. Retrieved from <http://goo.gl/NwyEqn>
- Rayburn, L. G. (1999). Contabilidad y administración de costos. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=CEPALFE.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=007083>
- Rosenblatt, M. (1956). A central limit theorem and a strong mixing condition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Retrieved from <http://www.pnas.org/content/42/1/43.short>
- Shapley, L. . (1953a). A value for  $n$ -person, in H. Khun y A. Tucker (eds), *Contributions to the theory*. A Princeton University Press.
- Shapley, L. . (1953b). Stochastic Games. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 39(10), 1095–1100. <http://doi.org/10.1073/pnas.39.10.1095>
- Shapley, L. . (1967). On balanced sets and cores. *Naval Research Logistics Quarterly*. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/nav.3800140404/abstract>
- Shapley, L. . (1971). Cores of convex games. *International Journal of Game Theory*. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007/BF01753431>
- Silver, E. A. (1974). A control system for coordinated inventory replenishment. *International Journal of Production Research*, 12, 647–671. <http://doi.org/10.1080/00207547408919583>

- Silver, E. A. (1976). A Simple Method of Determining Order Quantities in Joint Replenishments Under Deterministic Demand. *Management Science*, 22(12), 1351–1361. <http://doi.org/10.1287/mnsc.22.12.1351>
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). Inventory Management and Production Planning and Scheduling. *Managerial and Decision Economics*, 11(October 2015), 297–315. <http://doi.org/10.1002/mde.4090110504>
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2003). *Designing and managing the supply chain: concepts, strategies, and case studies. Book* (Vol. 3). <http://doi.org/Book Review>
- Sindhuchao, S., Romeijn, H. E., Akçali, E., & Boondiskulchok, R. (2005). An integrated inventory-routing system for multi-item joint replenishment with limited vehicle capacity. *Journal of Global Optimization*, 32(1), 93–118. <http://doi.org/10.1007/s10898-004-5908-0>
- Supply-Chain Council. (2008). Supply-Chain Operations Reference Model–SCOR Version 9.0. *Supply-Chain Council, Inc.*
- Supply Chain Council. (2010). Supply Chain Operations Reference (SCOR®) model. *Design, Version 10*, 0–23. <http://doi.org/10.1108/13598540410517557>
- Vellojin, L. N. C., Rios, D. G. R., Hernandez, M. C. H., Arboleda, C. D. P., & Miller, W. A. (2011). A Fictitious Play algorithm applied to a retailer's replenishment decision problem in a two-echelon supply chain. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 8(3), 247. <http://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.038986>
- Vlachos, D., & Tagaras, G. (2001). An inventory system with two supply modes and capacity constraints. *International Journal of Production Economics*, 72(1), 41–58. [http://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00083-9](http://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00083-9)
- World Bank. (2007). *Logistic Performance Index Report: Connecting to Compete 2007 Trade Logistics in the Global Economy*. Washington. Retrieved from <http://siteresources.worldbank.org/INTTLF/Resources/lpireport.pdf>
- World Bank. (2008). *Logistic Performance Index Report: Appendix 5, The LPI Methodology*. Washington. Retrieved from <https://wb-lpi-media.s3.amazonaws.com/LPI Methodology.pdf>
- World Bank. (2014). *Doing business 2015: Going beyond efficiency* (Vol. 12th Editi). Washinton DC, USA. <http://doi.org/10.1596/978-1-4648-0351-2>
- World Bank. (2016). *Logistic Performance Index Report 2016: Connecting to Compete Trade Logistics in the Global Economy*. Retrieved from [https://wb-lpi-media.s3.amazonaws.com/LPI\\_Report\\_2016.pdf](https://wb-lpi-media.s3.amazonaws.com/LPI_Report_2016.pdf)